



## Laitue

**Gestion de l'IRRIGATION associée à des stratégies bas intrants pour réduire les pollutions d'origine agricole et améliorer la QUALITÉ des productions**

**2023-2024**



Claire Goillon, APREL - Pierrine Tobias, stagiaire APREL - Prisca Pierre Ctifl/Aprel – Isabelle Boyer, Simon Cordier, Mathieu Cabanis, CRIIAM Sud - Alexandra Candaille, CETA Durance-Alpilles

Essai réalisé dans le cadre du projet LIRRIQUE : Gestion de l'IRRIGATION associée à des stratégies bas intrants pour réduire les pollutions d'origine agricole et améliorer la QUALITÉ des productions



Réalisé avec le soutien financier de :



### Résumé

Dans le but de limiter la consommation des ressources (eau, engrais, produits phytosanitaires), les maraîchers utilisent des outils de pilotage et sont en recherche permanente d'innovations. Le projet Lirrique cherche à combiner les OAD existants et de nouvelles techniques comme le système de restructuration de l'eau. Le système Homeo Dekalc (Traitagri Centre) est testé pendant 3 ans dans une parcelle en rotation laitue/tomate, en cherchant à évaluer les effets sur la production, la qualité, l'économie d'engrais, d'eau et de produits phytosanitaires

Une première année d'essai (2022-2023) n'a pas montré d'effet sur une culture conduite sans autre modification de paramètre. Pour les 2 années suivantes, le traitement de l'eau est testé en combinaison d'une conduite plus restreinte en intrants. La tenue des laitues après la coupe sera contrôlée dans les modalités. Des apports de silice (Basfoliar Si) sont également testés.

**Mots clés :** Eau restructurée, économie d'eau, système bas intrant, OAD, biocontrôle

## 1- Contexte et objectifs de l'essai

L'activité agricole est dépendante de nombreuses ressources naturelles menacées. Dans le but de limiter la consommation de ces ressources et de préserver leur qualité, certains outils de pilotage sont utilisés en maraîchage (sondes tensiométriques ou capacitatives, méthode PILazo, Nitratetest) mais d'autres innovations plus récentes restent à valider sur le terrain. C'est le cas de la restructuration de l'eau qui permettrait d'optimiser le pouvoir mouillant de l'eau (meilleure pénétration et rétention dans le sol), d'améliorer l'efficacité des traitements phytosanitaires, de favoriser la dissolution des minéraux et donc leur assimilation par la plante mais également de stimuler les racines et limiter le développement bactérien grâce à une augmentation de la concentration en oxygène de l'eau. Autour de cette innovation, le projet LIRRIQUE cherche à construire une stratégie de production bas intrant pour la laitue et la tomate

Une première année d'essai a évalué la restructuration de l'eau d'irrigation sur une culture de laitue sans modification d'autres paramètres (2022-2023). Cette année, l'objectif est d'associer au traitement de l'eau, une réduction des intrants (eau, fertilisant, produits phytosanitaire). Un 2<sup>e</sup> objectif est d'améliorer la tenue des laitues après la coupe. Des applications de Silice en fin de cycle sont également évaluées.

## 2- Facteurs et modalités étudiés

Dans une parcelle de laitue, une partie de la surface est irriguée avec de l'eau restructurée (Chapelle C2) et conduite avec une réduction d'intrants. Deux parcelles témoins (C1 et C3) permettent d'évaluer l'effet de l'eau restructurée et l'effet de la réduction d'intrants.

En fin de cycle de laitue, des placettes sont traitées avec de la Silice (Basfoliar Si) pour évaluer l'effet combiné ou pas avec l'eau restructurée sur la tenue des laitues après la coupe.

L'essai comprend donc 7 modalités :

|               | Restructuration de l'eau | Réduction d'intrants | Application de Silice |   |
|---------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|---|
| C1_FDC        |                          | X                    |                       | Témoin conduite bas intrant sans eau restructurée, sans Silice, sur feuille de chêne blonde |
| C1_FDC_Si     |                          | X                    | X                     | Témoin conduite bas intrant sans eau restructurée + Silice sur feuille de chêne blonde      |
| C2_FDC_HD     | X                        | X                    |                       | Conduite bas intrant + eau restructurée sur Feuille de chêne blonde                         |
| C2_Bata_HD    | X                        | X                    |                       | Conduite bas intrant + eau restructurée sur Batavia   |
| C2_Bata_HD_Si | X                        | X                    | X                     | Conduite bas intrant + eau restructurée + silice sur Batavia                                |
| C3_Bata       |                          |                      |                       | Témoin conduite producteur sur Batavia  |

### 3- Matériel et méthodes

#### 3.1 - Site d'implantation

L'essai est réalisé chez M. Eric Bres à Saint-Rémy-de-Provence (13), dans une multichapelle plastique de 3500 m<sup>2</sup>, orientée Est/Ouest. Système de production conventionnel

Le système Homéo Dekalc est installé sur l'arrivée d'eau de forage d'une des chapelles et permet de traiter l'eau sur le réseau d'aspersion (voir compte-rendu 2022-2023)

#### 3.2 - Dispositif expérimental

La figure 1 présente la disposition de chaque modalité et des zones de prélèvements. La chapelle plus au sud correspond à la modalité C1\_FDC. La chapelle C2 traitée avec Homeo Dekalc est plantée avec une moitié feuille de chêne et moitié batavia. Enfin, la chapelle C3 correspond à la modalité non traitée avec des batavias.

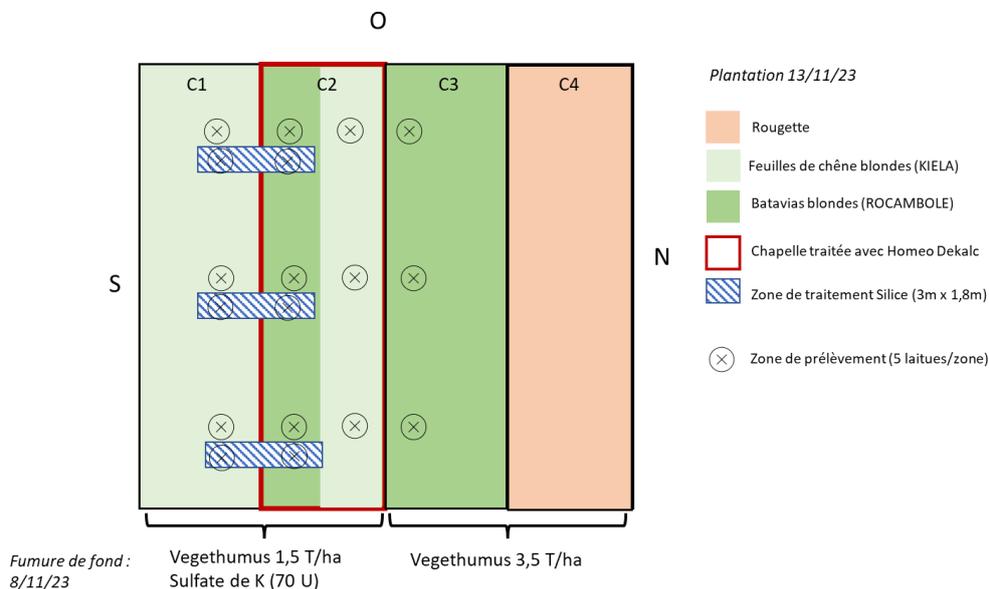


Figure 1 : Dispositif expérimental sur laitue (projet LIRRIQUE, 2024)

#### 3.3 – Données culturales

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Variétés</b>           | Feuille de chêne blonde : Kiela de la société Rijk Zwaan<br>Batavia blonde : Rocambole de la société Vilmorin |
| <b>Densité</b>            | 14 plants/m <sup>2</sup>  |
| <b>Date de plantation</b> | 13/11/2023  |
| <b>Date de récolte</b>    | 12/02/2024 (91j)  |

### 3.4 - Observations et mesures

#### Suivi climatique

- Une sonde Sencrop est installée dans la multichapelle avec relevés de température, hygrométrie et Humectation foliaire

#### Suivi de l'irrigation (CRIIAM Sud) :

- Des sondes capacitatives ont été positionnées sur chacune des modalités afin de suivre l'évolution de l'eau dans le sol.
- Evaluation des quantités d'eau apportées

#### Rendement :

- Récolte de 15 laitues/modalité, mesure du poids brut individuel puis du poids après parage.
- Evaluation de la teneur en eau des laitues : sur 6 laitues parées/modalité, ¼ de chaque laitue est prélevé, pesé puis mis en sachet papier. Après passage à l'étuve (70°C pendant 24h puis 50°C pendant 20h), les échantillons sont pesés individuellement pour calculer le % de Matière sèche.
- Evaluation de la tenue après récolte réalisée par le CTIFL, après 4j et 8j de conservation

#### Analyse statistique :

- Anova à 2 facteurs pour les mesures sur laitue : poids individuel et % Masse sèche. Pour les mesures de tenue post-récolte (tenue, flétrissement, brunissement), un test d'indépendance de Fischer a été utilisé. Les tests de Bonferroni, Scheffe et Sidak ont servi à évaluer la significativité des différences.

## 4- Résultats

### 4.1 Mise en œuvre des modalités

#### Réduction de fertilisation

Des analyses de sol et des Nitratest ont été réalisés en octobre, à la fin des cultures de tomate pour calculer la fumure nécessaire à la salade (Annexe 1).

Les analyses révèlent un sol avec un bon taux de matières organiques (entre 4.4 et 4.9%), très bien pourvu dans tous les éléments sauf en potasse. On note une différence entre les 3 chapelles concernant les éléments Nitrates et Potasse. La parcelle traitée avec l'eau restructurée présente les teneurs les plus élevées en Nitrates

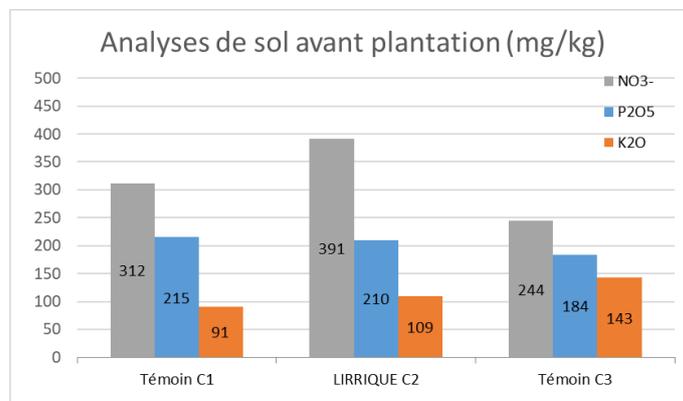


Figure 2 : Analyses des éléments minéraux NPK disponibles dans le sol avant plantation (en mg/kg). Valeurs issues du Nitratest pour NO3- et d'une analyse base échangeable pour P2O5 et K2O

Pour la modalité C3, le producteur apporte un amendement organique de Vegethumus (2.2 – 1.5 – 1 + 2Mg) à hauteur de 3.5 T/ha

Pour les modalités bas intrant (C1 et C2), le raisonnement est basé sur les exportations théoriques de laitue (35 unités d'azote et 170 unités de potasse) et de la grille de recommandation issue du projet REVEIL (Annexe 2). La difficulté est de réduire les apports de nitrates et phosphore (impossible) mais de renforcer le sol en potasse. Le sol étant également excédentaire en soufre, il n'est pas conseillé d'apporter du sulfate de potasse en grande quantité. Les quantités de Vegethumus sont réduites à 1.5 t/ha et un complément de potasse est apporté sous forme de sulfate de potasse (52%). Un sac de 25 kg est réparti sur les 2 chapelles avant plantation, correspondant à 142.8 kg/ha soit 74 unités.

Tableau 2 : Apports réalisés dans les différentes modalités

| Kg/ha | C1-C2      | C3 |
|-------|------------|----|
| NO3-  | 33         | 77 |
| P2O5  | 22         | 53 |
| K2O   | 89 (15+74) | 35 |

Compte tenu des différences initiales de teneurs dans le sol pour les 3 chapelles de l'essai, la fertilisation n'a pas pu être significativement différenciée sur la laitue. Cependant avec l'application du raisonnement, les apports de Nitrates et de Phosphore ont pu être réduits d'environ 40% dans les chapelles C1 et C2 par rapport à la modalité témoin.

#### Réduction d'eau

La conduite du producteur étant déjà optimale et peu importante sur laitue (120 mm l'an dernier), les irrigations n'ont pas été différenciées.

#### Réduction de traitements phytosanitaires

L'IFT pour la culture de laitue était de 7 pour 2022-2023 (2 insecticides et 5 fongicides). Après discussion avec le producteur, il est envisagé de substituer 1 ou 2 fongicides pour couvrir la 2<sup>e</sup> moitié du cycle cultural.

Une quantification des sclérotés de *Sclerotinia* spp. dans le sol avant plantation a pu être réalisée par les laboratoires de Lallemand Plant care (analyse du 25 oct 2023).

Tableau 2 : Analyses du nombre de sclérotés de *Sclerotinia* spp. dans les 3 chapelles d'essai avant plantation de laitue et traitement au Lalstop CONTANS

Tableau de synthèse des résultats

| Répétitions analytiques | Structure du sol prélevé                 | Nombres de sclérotés en fonction de la taille |                      |                        |                          | Total |
|-------------------------|--|---|----------------------|------------------------|--------------------------|-------|
|                         |  | 2mm < Sclérote                                | 2mm < Sclérote < 1mm | 1mm < Sclérote < 355um | 355um < Sclérote < 160um |       |
| C1                      | Fine avec peu d'agrégats friables        | 0   | 2                    | 11                     | 11                       | 24    |
| C2                      | Moyenne avec agrégats friables           | 0   | 6                    | 12                     | 11                       | 28    |
| C3                      | Compacte avec gros agrégats non friables | 0   | 9                    | 40                     | 13                       | 62    |

La chapelle 3 (témoin) ressort plus chargée en sclérotés que les 2 autres avec une majorité de sclérotés de taille comprises entre 1mm et 355 µm. Il n'y a pas eu de distinction faite sur les traitements contre sclerotinia suite à cette information.

Parmi les produits de biocontrôle, plusieurs homologations existent mais n'ont pas de référence d'efficacité sur le terrain. Les produits Taegro (*Bacillus amyloliquifaciens*), Limocide sont pressentis car homologués contre *Bremia* et avec des usages secondaires contre pourriture (Taegro) et oïdium (Limocide). Des essais sont conduits en parallèle pour évaluer l'effet du Taegro dans le projet Lirrique. Le produit Limocide est donc choisi pour cet essai en remplacement d'Infinito à partir du mois de janvier. Cependant, le mode d'application du traitement chez le producteur ne permettait pas de respecter une concentration suffisante de produit pour assurer une action (<0.01% au lieu de 0.5%). Il a été décidé de ne pas prendre ce risque et les modalités n'ont pas été différenciées par rapport à la protection phytosanitaire (Annexe 3)

#### Application de silice

Le produit Basfoliar Si a été fourni par la société COMPO. La dose recommandée est de 2L/ha à appliquer environ 10j avant récolte. Des placettes de 3m x 1.80m (5.4 m<sup>2</sup>) sont définies dans C1 et C2. 3 placettes de Feuille de chêne (C1) et de batavia (C2) reçoivent les traitements de silice, appliqués avec des petits pulvérisateurs à main. Un volume de 7 mL dans 3L d'eau est utilisé pour couvrir les 6 placettes de l'essai (32.4 m<sup>2</sup>), représentant un mouillage de 926 L/ha.

3 applications sont réalisées avant la récolte : 18/01 – 25/01 – 1/02

## 4.2 Observations culturales

Développement de la culture sans problème particulier et sans différence visible entre les modalités.

La chapelle 2 présente quelques lignes de salades moins développées sur les rangs de plantation de tomate de l'été.

*Photo : culture au 18 janvier*



## Suivi climatique

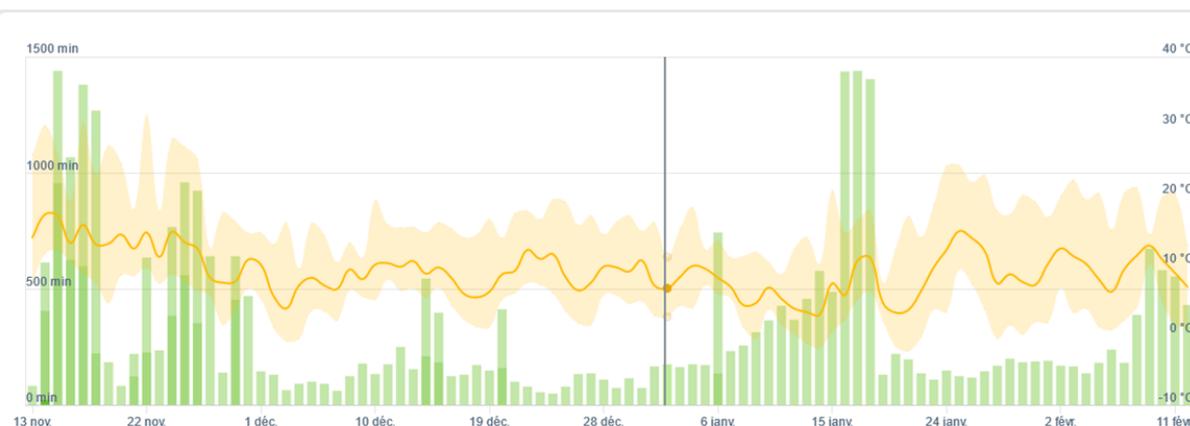


Figure 3 : relevés climatiques de la sonde Sencrop pendant la culture de laitue. Humectation foliaire en min/h (histogrammes verts) et température en °C (courbe orange)

La culture de salade s'est déroulée du 13/11 au 12/02 dans un climat relativement doux pour un hiver. Les températures négatives ont été très rares et se sont produites ponctuellement les 13,14 et 21 janvier sans générer de gelée problématique dans la culture.

L'humectation foliaire est observée tout au long de la culture et particulièrement élevée sur les périodes d'arrosage. Cette humidité permanente des feuilles est propice au développement des maladies fongiques.

## Suivi des nitrates

Les teneurs en nitrates sont élevées dans le sol avant la plantation, la chapelle 3 étant la moins pourvue. Après récolte, les teneurs sont plus homogènes mais toujours élevées aux alentours de 200 unités.

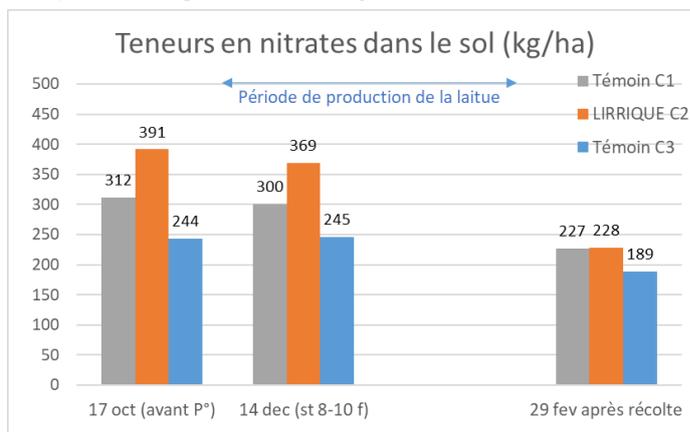


Figure 4 : Relevés des Nitrates dans le sol, effectués autour du cycle cultural de la laitue

## Suivi de l'irrigation

Les sondes capacitatives permettent de suivre l'évolution de l'humidité du sol sur les parcelles irriguées avec l'eau restructurée et le témoin. Ce suivi fait l'objet d'un compte-rendu par un autre partenaire du projet (CRIIAM)

Il n'y a pas eu de différenciation de dose d'apport entre la modalité traitée avec Homeo Dekalc et le témoin. Les apports se sont concentrés après la plantation. Les conditions de culture n'ont pas nécessité beaucoup d'apport et la conduite a été optimale avec un volume cumulé très faible (75 mm cumulé).

Les sondes ont montré des courbes très similaires (Fig 5). La courbe de la modalité avec HD reste toutefois en-dessous de la modalité témoin, notamment en fin de cycle.

*Photo : pose des sondes pour le suivi d'humidité du sol*



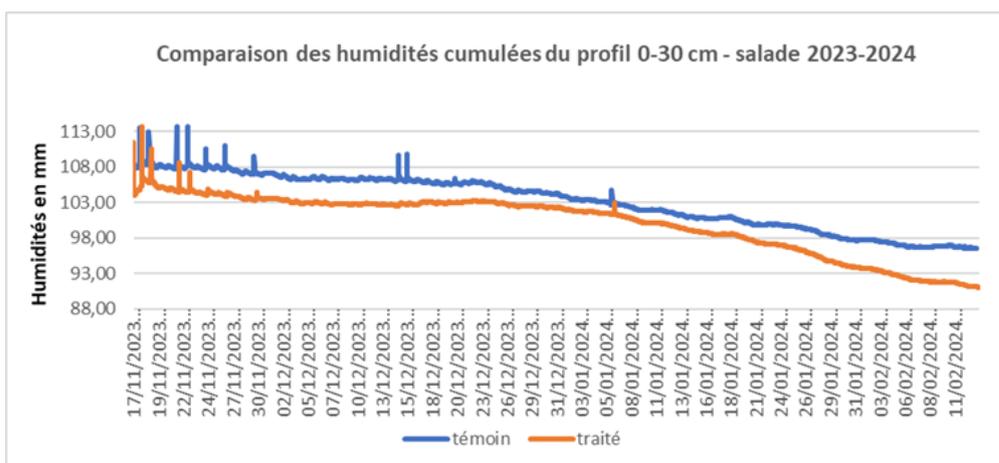


Figure 5 : Courbes d'évolution comparative de l'humidité du sol sur culture de salade entre la modalité traitée avec Homeo Dekalc et la modalité témoin

### Suivi sanitaire

L'année se caractérise par une pression fongique élevée liée aux températures douces de l'hiver. De nouvelles races de *Bremia* sont apparues pendant la saison sur variétés résistantes. Cependant, aucun problème sanitaire n'a été observé dans la culture avec le programme de protection appliqué. La culture a reçu 2 applications d'insecticides et 4 applications de fongicides, portant l'IFT à 6 pour cette culture au lieu de 7 l'an dernier. Le choix a été fait de ne pas appliquer le dernier fongicide compte tenu du bon état sanitaire, même dans la modalité témoin qui présentait le plus de risque de *Sclerotinia* spp.

Lors des récoltes, les observations précises des dessous montrent la présence de sporulations (botrytis) sur les feuilles au contact avec le paillage et les premières feuilles de la coupe qui s'enlèvent au parage. Les feuilles de chêne blondes sont plus touchées que les batavias. Il n'y a pas eu de conséquences sur la commercialisation de ces salades.

## 4.3 Evaluation du rendement

La récolte a été effectuée le 12 février 2024 sur un cycle de 91j.

### ➤ Poids individuel des laitues après parage

Valeurs moyennes obtenues sur les pesées individuelles de 18 salades par modalité. Les laitues sont pesées avant parage (poids brut) et après parage des feuilles jaunies et abimées (poids net) pour la commercialisation.

Tableau 3 : Résultats des pesées à la récolte dans les différentes modalités

|               | Poids moyen brut (g) | Poids moyen net (g) | % déchet |
|---------------|----------------------|---------------------|----------|
| C1_FDC        | 422                  | 377                 | 11%      |
| C1_FDC_Si     | 401                  | 352                 | 12%      |
| C2_FDC_HD     | 437                  | 381                 | 13%      |
| C2_Bata_HD    | 388                  | 351                 | 10%      |
| C2_Bata_HD_Si | 384                  | 356                 | 7%       |
| C3_Bata       | 411                  | 372                 | 10%      |

D'après l'analyse statistique (ANOVA), il n'y a pas de différence significative sur le poids individuel après parage quelle que soit la typologie Feuille de chêne blonde ou batavia. Pour la feuille de chêne : p-value = 0.4387 ; pour la batavia p-value = 0.150

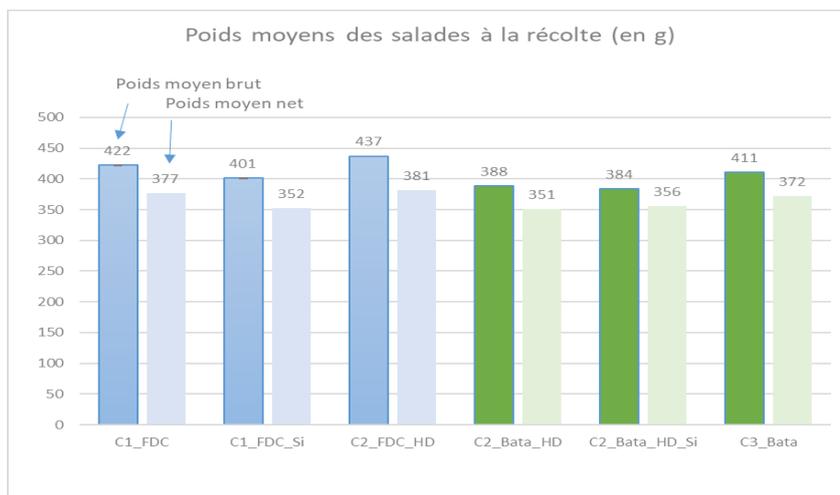


Figure 6 : valeurs et graphique des poids moyens (bruts et nets) mesurés à la récolte dans les différentes modalités

➤ **Pourcentage de matière sèche des laitues**

Les mesures de matière sèche sur les batavias ont donné 4.4% pour le témoin et 5.4 % avec l'eau restructurée avec ou sans apport de Silice. Malgré un écart sur la moyenne, d'après l'Anova à un facteur (modalité de traitement) il n'y a pas de différence significative dans le pourcentage de matière sèche des salades (p-value = 0.411), quelle que soit la modalité.

➤ **Tenue post-récolte**

Extrait du compte-rendu du CTIFL, responsable de cette étude dans le projet LIRRIQUE



Photos : Chantier de récolte

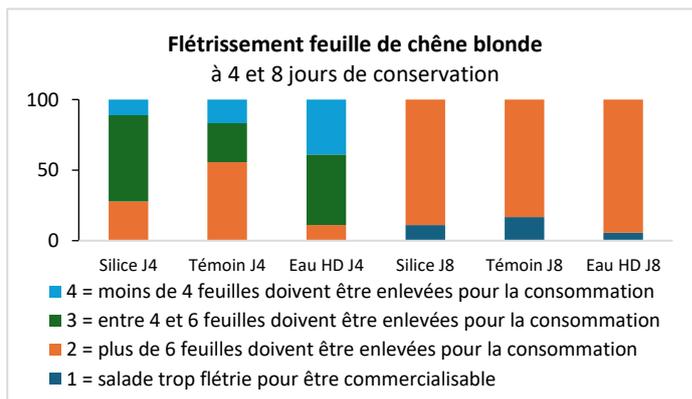
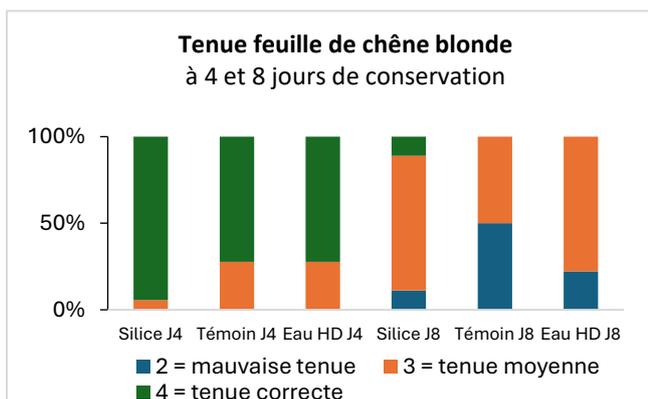


Observation des dessous de laitue avant parage

• **Feuille de chêne blonde**

D'après les mesures réalisées sur feuilles de chêne blonde dans nos conditions d'essai

- à 4j de conservation, la salade avec eau HD (Homeo Dekalc) a significativement moins de flétrissement que le témoin. Non significatif à 8j
- à 8j de conservation, la salade avec silice a significativement une meilleure tenue que le témoin.
- pour les autres croisements de modalités, il n'y a pas de différence significative.



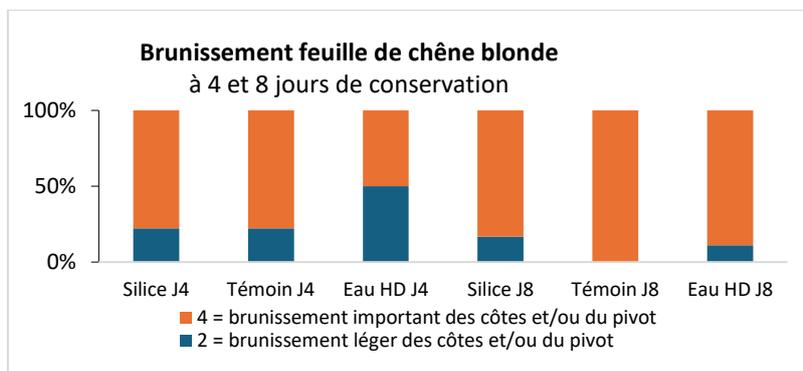


Figure 7 : Notations de conservation à J4 et J8 sur feuilles de chêne blonde : Tenue-Flétrissement et brunissement du collet (en % de salades par catégorie)

• **Batavia blonde**

D'après les mesures réalisées sur la typologie batavia dans nos conditions d'essai

- à 4 jours de conservation la salade avec l'eau restructurée HD (Homeo Dekalc) a une tenue significativement moins bonne que les deux autres modalités (témoin et eau HD+silice). Non significatif à J8
- à 4j de conservation, la salade avec l'eau HD a un brunissement significativement moins marqué. Non significatif à 8j
- Il n'y a pas d'autres résultats significatifs observés.

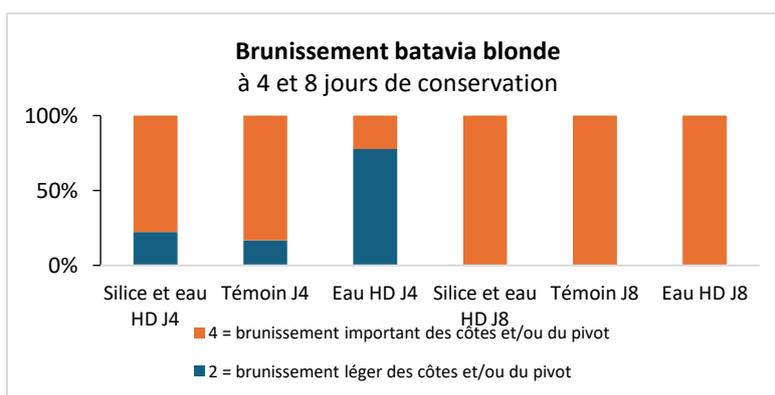
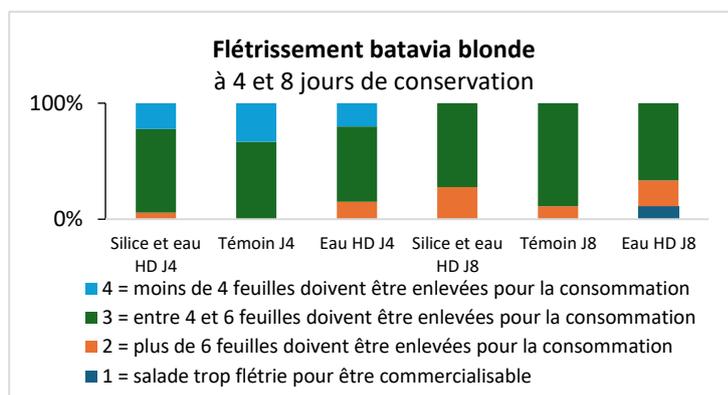
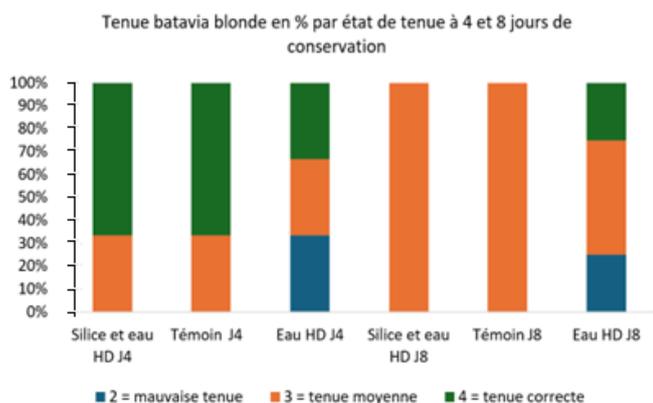


Figure 8 : Notations de conservation à J4 et J8 sur batavia blonde : Tenue-Flétrissement et brunissement du collet (en % de salades par catégorie)

Ces résultats ne permettent pas de mettre en avant un effet de l'eau restructurée avec Homeo Dekalc ou d'un traitement à la silice sur la conservation de la salade.

- La plupart des effets significatifs observés à 4j ne le sont plus à 8j.
- Les effets observés en feuille de chêne ne le sont pas en batavia.
- Aucune modalité ne permet d'améliorer simultanément les 3 indicateurs observés (tenue, flétrissement, brunissement)

## 5- Conclusion

Comme l'an dernier, dans une conduite jugée optimale, l'irrigation des laitues par de l'eau restructurée (Homéo Dekalc / Traitagri) n'apporte pas de gain de production (poids brut, poids net et matière sèche). L'essai ne montre pas non plus de différence entre les modalités sur les suivis d'humidité du sol.

Les applications de silice (Basfoliar Si : Compo) en fin de cycle n'ont pas eu d'effet sur la production de matière fraîche ou sèche. Un effet significatif sur la tenue des feuilles de chêne à 8j a été observé mais ne se confirme pas sur les batavias et ne se traduit pas par une réduction du flétrissement.

La réduction des intrants n'ayant pu être faite, les apports d'eau, d'engrais et de produits phytosanitaires ont été équivalents entre les modalités. Il n'a pas été possible d'évaluer l'effet de l'eau restructurée combinée à la réduction d'intrants. Néanmoins une réduction des IFT de 7 à 6 a été obtenue avec la suppression d'un fongicide avant récolte dans toutes les modalités.

Suite aux bons résultats obtenus avec le biocontrôle Taegro contre pourritures du collet (action complémentaire dans le projet LIRRIQUE), une stratégie avec substitution de fongicide est envisagée sur cette parcelle pour la dernière année (2024-2025).

Cependant, les difficultés rencontrées sur un site de production pour réduire les intrants au-delà d'une conduite déjà optimisée laisse penser que des essais en station sur petite parcelle pourraient être le moyen d'évaluer dans quelle mesure l'eau restructurée permet de réduire l'eau et l'engrais, tout en maintenant la production.

---

Renseignements complémentaires auprès de :

Action A840

Claire Goillon, APREL, Route de Mollégès 13210 Saint-Rémy de Provence, 0490923947, goillon@aprel.fr

ANNEXES

ANNEXE 1 : Analyses physico-chimique du sol dans les 3 modalités fin octobre avant plantation de la salade

Modalité C1 – Témoin « bas intrants »



Laboratoire agréé par le Ministère de l'Agriculture



Numéro d'Analyse **2310404**

ANALYSE DE TERRE

du type **T1CN**  
Echantillon reçu le 19/10/2023  
Edition du 30/10/2023

Parcelle

**Mas Republicain - C1**

Surface Ha Précédent

Culture en place

Culture prévue **Maraîchage**

Exploitant **aprel@aprel.fr**  
APREL  
Route de Mollèges  
D 31  
13210 SAINT REMY DE PROVENCE

Conseiller

Destinataire  
APREL  
Route de Mollèges  
D 31  
13210 SAINT REMY DE PROVENCE

Les déterminations sont effectuées sur la fraction de terre de granulométrie <= 2 mm. Les résultats sont exprimés par rapport à cette même fraction.

Les interprétations et les calculs sont valables pour la tranche de terre prélevée, soit **30 cm**

Il est tenu compte du pourcentage de cailloux estimé sur champ quand il est indiqué, soit **15 %**

Réaction du sol Sol très alcalin Réaction très élevée pour ce type de sol  
Niveau calcaire Terre très calcaire et chlorosante

Quantité théoriquement nécessaire pour amener votre sol à un niveau :

| en Unité ou Kg d'élément / Ha | Minimum | Optimum | Moyen |
|-------------------------------|---------|---------|-------|
| P205                          | 0       | 0       | 0     |
| K2O                           | 614     | 748     | 681   |
| MgO                           | 0       | 0       | 0     |

Les quantités ne sont pas les quantités à apporter à votre sol, elles donnent une idée du déficit pour l'élément considéré et pour l'horizon prélevé.

| Méthodes NF                   | Déterminations                         | Résultats                           | Très Faible | Faible | Normal | Elevé | Très Elevé | VS(*) |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|------------|-------|
|                               | Refus                                  | 1 %                                 |             |        |        |       |            |       |
| X 31-130                      | Capacité d'échange cationique CEC      | 12.0 meq/100g                       |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10390                     | pH Eau                                 | 8.1                                 |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10390                     | pH KCl                                 | 7.9                                 |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10693                     | Calcaire Total                         | 34 %                                |             |        |        |       |            |       |
| X 31-106                      | Calcaire Actif                         | 10 %                                |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10884<br>Combustion sèche | Matières Organiques Totales            | 4.54 %                              |             |        |        |       |            | 2.8   |
|                               | Carbone C                              | 26.33g/Kg                           |             |        |        |       |            | 115   |
| X31-160                       | Anhydride Phosphorique Olsen P2O5      | 215 mg/Kg                           |             |        |        |       |            |       |
| X31-161                       | Anhydride Phosphorique Joret P2O5      | mg/Kg                               |             |        |        |       |            |       |
| X 31-108                      | Oxyde de Potassium K2O                 | 91 mg/Kg                            |             |        |        |       |            | 256   |
| X 31-108                      | Oxyde de Magnésium MgO                 | 704 mg/Kg                           |             |        |        |       |            | 128   |
| X 31-108                      | Oxyde de Calcium CaO                   | 10 720 mg/Kg                        |             |        |        |       |            | 3212  |
| X 31-108                      | Sodium Na2O                            | 258 mg/Kg                           |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Fer DTPA                               | mg/Kg                               |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Cuivre DTPA                            | mg/Kg                               |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Zinc DTPA                              | mg/Kg                               |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Manganèse DTPA                         | mg/Kg                               |             |        |        |       |            |       |
| X 31-122                      | Bore                                   | mg/Kg                               |             |        |        |       |            |       |
| ISO 13376<br>Combustion sèche | Azote total                            | 2 104 mg/Kg C / N                   |             |        |        |       |            | 12.5  |
|                               | Indicateur de l'activité biologique K2 | 0.83 %                              |             |        |        |       |            | 1.5   |
|                               | Bilan humique prévisionnel             | 1 130 Kg d'humus/ha/an sans apport  |             |        |        |       |            |       |
| ISO 11265                     | Résistivité                            | 648 ohm.cm Conductivité 154.3 µS/cm |             |        |        |       |            |       |

**INDICE DE POUVOIR CHLOROSANT IPC =**  
Certains de ces éléments peuvent poser problèmes, actions si possible  
Éléments plus ou moins corrects, à surveiller ou à améliorer si possible  
Éléments se situant à un bon niveau pour ce type de sol, à préserver

(\*)VS = Valeurs théoriquement souhaitables pour votre sol, fonction de nombreux paramètres, elles sont à prendre avec réserve et prudence.

Modalité C2 – Lirrique, traitement Homeo Dekalc



Laboratoire agréé par le Ministère de l'Agriculture



Numéro d'Analyse **2310405**

**ANALYSE DE TERRE**

du type **T1CN**  
Echantillon reçu le **19/10/2023**  
Edition du **30/10/2023**

Parcelle **Mas Republicain - C2**

Surface **Ha** Précédent

Culture en place

Culture prévue **Maraîchage**

Exploitant **aprel@aprel.fr**  
APREL  
Route de Mollèges  
D 31  
13210 SAINT REMY DE PROVENCE

Conseiller

Destinataire  
APREL  
Route de Mollèges  
D 31  
13210 SAINT REMY DE PROVENCE

Les déterminations sont effectuées sur la fraction de terre de granulométrie <= 2 mm. Les résultats sont exprimés par rapport à cette même fraction.

Les interprétations et les calculs sont valables pour la tranche de terre prélevée, soit **30 cm**

Il est tenu compte du pourcentage de cailloux estimé sur champ quand il est indiqué, soit **15 %**

Réaction du sol **Sol très alcalin** Réaction très élevée pour ce type de sol et chlorosante  
Niveau calcaire **Terre très calcaire**

| Quantité théoriquement nécessaire pour amener votre sol à un niveau : |             | Minimum | Optimum | Moyen |
|---|-------------|---------|---------|-------|
| en Unité ou Kg d'élément / Ha   |             |         |         |       |
|   | <b>P2O5</b> | 0       | 0       | 0     |
|   | <b>K2O</b>  | 513     | 649     | 581   |
|   | <b>MgO</b>  | 0       | 0       | 0     |

Les quantités ne sont pas les quantités à apporter à votre sol, elles donnent une idée du déficit pour l'élément considéré et pour l'horizon prélevé.

| Méthodes NF                   | Déterminations                         | Résultats                            | Très Faible | Faible | Normal | Elevé | Très Elevé | VS(*) |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|------------|-------|
|                               | Refus                                  | 1 %                                  |             |        |        |       |            |       |
| X 31-130                      | Capacité d'échange cationique CEC      | 10.9 meq/100g                        |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10390                     | pH Eau                                 | 7.9                                  |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10390                     | pH KCl                                 | 7.8                                  |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10693                     | Calcaire Total                         | 34 %                                 |             |        |        |       |            |       |
| X 31-106                      | Calcaire Actif                         | 11 %                                 |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10954<br>Combustion sèche | Matières Organiques Totales            | 4.89 %                               |             |        |        |       |            |       |
|                               | Carbone C                              | 28.36 g/Kg                           |             |        |        |       |            | 3.0   |
| X31-160                       | Anhydride Phosphorique Olsen P2O5      | 210 mg/Kg                            |             |        |        |       |            | 114   |
| X31-161                       | Anhydride Phosphorique Joret P2O5      | mg/Kg                                |             |        |        |       |            |       |
| X 31-108                      | Oxyde de Potassium K2O                 | 109 mg/Kg                            |             |        |        |       |            | 252   |
| X 31-108                      | Oxyde de Magnésium MgO                 | 760 mg/Kg                            |             |        |        |       |            | 126   |
| X 31-108                      | Oxyde de Calcium CaO                   | 12 902 mg/Kg                         |             |        |        |       |            | 3068  |
| X 31-108                      | Sodium Na2O                            | 263 mg/Kg                            |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Fer DTPA                               | mg/Kg                                |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Cuivre DTPA                            | mg/Kg                                |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Zinc DTPA                              | mg/Kg                                |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Manganèse DTPA                         | mg/Kg                                |             |        |        |       |            |       |
| X 31-122                      | Bore                                   | mg/Kg                                |             |        |        |       |            |       |
| ISO 13876<br>Combustion sèche | Azote total                            | 2 427 mg/Kg C / N                    |             |        |        |       |            |       |
|                               | Indicateur de l'activité biologique K2 | 0.91 %                               |             |        |        |       |            |       |
|                               | Bilan humique prévisionnel             | 1 335 Kg d'humus/héctare sans apport |             |        |        |       |            | 1.5   |
| ISO 11265                     | Résistivité                            | 585 ohm.cm Conductivité 170.9 µS/cm  |             |        |        |       |            |       |

**INDICE DE POUVOIR CHLOROSANT IPC -**  
 Certains de ces éléments peuvent poser problèmes, actions si possible  
 Éléments plus ou moins corrects, à surveiller ou à améliorer si possible  
 Éléments se situant à un bon niveau pour ce type de sol, à préserver

(\*)VS =Valeurs théoriquement souhaitables pour votre sol, fonction de nombreux paramètres, elles sont à prendre avec réserve et prudence.

Modalité C3 – Témoin producteur



Laboratoire agréé par le Ministère de l'Agriculture

Numéro d'Analyse **2310406**

## ANALYSE DE TERRE

 du type **T1CN**  
 Echantillon reçu le 19/10/2023  
 Edition du 30/10/2023
Parcelle **Mas Republicain - C3**
 Surface Ha Précédent  
 Culture en place  
 Culture prévue **Maraîchage**

 Exploitant **aprel@aprel.fr**  
 APREL  
 Route de Mollèges  
 D 31  
 13210 SAINT REMY DE PROVENCE

Conseiller

 Destinataire  
 APREL  
 Route de Mollèges  
 D 31  
 13210 SAINT REMY DE PROVENCE

 Les déterminations sont effectuées sur la fraction de terre de granulométrie  $\leq 2$  mm. Les résultats sont exprimés par rapport à cette même fraction.

Les interprétations et les calculs sont valables pour la tranche de terre prélevée, soit 30 cm

Il est tenu compte du pourcentage de cailloux estimé sur champ quand il est indiqué, soit 15 %

 Réaction du sol Sol très alcalin Réaction très élevée pour ce type de sol  
 Niveau calcaire Terre très calcaire et chlorosante

Quantité théoriquement nécessaire pour amener votre sol à un niveau :

en Unité ou Kg d'élément / Ha

Les quantités ne sont pas les quantités à apporter à votre sol, elles donnent une idée du déficit pour l'élément considéré et pour l'horizon prélevé.

|      | Minimum | Optimum | Moyen |
|------|---------|---------|-------|
| P2O5 | 0       | 0       | 0     |
| K2O  | 378     | 512     | 445   |
| MgO  | 0       | 0       | 0     |

| Méthodes NF                   | Déterminations                         | Résultats                                | Très Faible | Faible | Normal | Elevé | Très Elevé | VS(*) |
|-------------------------------|--|--|-------------|--------|--------|-------|------------|-------|
|                               | Refus                                  | 1 %                                      |             |        |        |       |            |       |
| X 31-130                      | Capacité d'échange cationique CEC      | 12.3 meq/100g                            |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10390                     | pH Eau                                 | 8.1                                      |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10390                     | pH KCl                                 | 7.9                                      |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10693                     | Calcaire Total                         | 34 %                                     |             |        |        |       |            |       |
| X 31-106                      | Calcaire Actif                         | 10 %                                     |             |        |        |       |            |       |
| ISO 10894<br>Combustion sèche | Matières Organiques Totales            | 4.39 %                                   |             |        |        |       |            | 2.7   |
|                               | Carbone C                              | 25.46 g/Kg                               |             |        |        |       |            | 115   |
| X31-160                       | Anhydride Phosphorique Olsen P2O5      | 184 mg/Kg                                |             |        |        |       |            |       |
| X31-161                       | Anhydride Phosphorique Joret P2O5      | mg/Kg                                    |             |        |        |       |            |       |
| X 31-108                      | Oxyde de Potassium K2O                 | 143 mg/Kg                                |             |        |        |       |            | 257   |
| X 31-108                      | Oxyde de Magnésium MgO                 | 709 mg/Kg                                |             |        |        |       |            | 129   |
| X 31-108                      | Oxyde de Calcium CaO                   | 13 578 mg/Kg                             |             |        |        |       |            | 3239  |
| X 31-108                      | Sodium Na2O                            | 223 mg/Kg                                |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Fer DTPA                               | mg/Kg                                    |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Cuivre DTPA                            | mg/Kg                                    |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Zinc DTPA                              | mg/Kg                                    |             |        |        |       |            |       |
| X 31-121                      | Manganèse DTPA                         | mg/Kg                                    |             |        |        |       |            |       |
| X 31-122                      | Bore                                   | mg/Kg                                    |             |        |        |       |            |       |
| ISO 13678<br>Combustion sèche | Azote total                            | 2 099 mg/Kg C / N                        |             |        |        |       |            |       |
|                               | Indicateur de l'activité biologique K2 | 0.81 %                                   |             |        |        |       |            | 1.5   |
|                               | Bilan humique prévisionnel             | 1 067 Kg d'humus/héctare sans apport     |             |        |        |       |            |       |
| ISO 11265                     | Résistivité                            | 860 ohm.cm Conductivité 116.3 $\mu$ S/cm |             |        |        |       |            |       |

**INDICE DE POUVOIR CHLOROSANT IPC =**  
 [Red hatched] Certains de ces éléments peuvent poser problèmes, actions si possible  
 [Blue hatched] Eléments plus ou moins corrects, à surveiller ou à améliorer si possible  
 [Green hatched] Eléments se situant à un bon niveau pour ce type de sol, à préserver

(\*)VS = Valeurs théoriquement souhaitables pour votre sol, fonction de nombreux paramètres, elles sont à prendre avec réserve et prudence.

## Annexe 2 : Méthode de raisonnement de la fertilisation P et K issue du projet REVEIL



## Mieux piloter la fertilisation Phospho-Potassique en culture maraîchère en sol

Prototype d'Outil d'Aide à la Décision (projet REVEIL 20182022)



Le prototype d'outil présenté dans ce document est issu des travaux du projet REVEIL. La méthodologie et les grilles ont été construites à partir de la bibliographie et de données expérimentales. Le prototype a été testé sur un nombre restreint d'essais en Provence. Une validation sur un plus grand nombre de parcelles est nécessaire afin de s'assurer qu'il est applicable dans différents contextes pédo-climatiques.

### Références utilisées pour construire le prototype – cultures de tomate et laitue

- o La méthode s'appuie sur la logique des grilles du COMIFER (2007), elle tient compte de la **teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen ou K<sub>2</sub>O échangeable du sol** et de l'**exigence des cultures**.
- o Les **valeurs seuils de concentration dans le sol** du prototype ont été définies sur la base de références bibliographiques, d'Arvalis et de l'INRAE d'Avignon. La disponibilité du potassium étant très dépendante de la teneur du sol en argile, l'indicateur « CEC » (Capacité d'Echange Cationique) a été intégré à l'outil pour moduler les valeurs seuils de K<sub>2</sub>O.
- o Les **valeurs d'exportations en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O** de la laitue et de la tomate ont été définies sur la base des références de l'INRAE et du Comifer.

## METHODE

### 1 – Faire une analyse de sol bases échangeables avant la culture

Les analyses d'éléments extractibles : **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable par la méthode Olsen** et **K<sub>2</sub>O échangeable** permettent d'évaluer la biodisponibilité de ces éléments dans le sol. Les analyses extraits à l'eau ne suffisent pas à connaître les quantités de P et K réellement disponibles pour les plantes.

Pour la potasse, il faut également connaître le **niveau de CEC** (Capacité d'Echange Cationique) du sol.

### 2 – Lire les apports conseillés dans les grilles

- Positionner les valeurs de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O mesurées (en ppm) par rapport aux teneurs seuil (T) indiquées dans les tableaux.
- Se référer aux apports préconisés dans chaque tableau

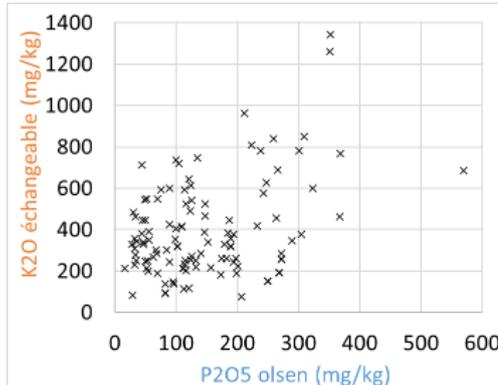


Figure 1 : Etat des lieux de teneurs en Phosphore Olsen et Potassium échangeable dans les sols maraîchers de Provence (n = 105 analyses)

|   | Teneurs en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ou P) dans le sol |                                |                                  |   |
|---|---|--------------------------------|----------------------------------|---|
|   | T renforcé<br>60 ppm<br>(26 ppm)                            | T réduit<br>90 ppm<br>(39 ppm) | T impasse<br>180 ppm<br>(78 ppm) |   |
|  |   |                                |                                  |   |
| <b>LAITUE</b>   |   |                                |                                  |   |
| Apports de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(unités ou kg/ha)                       | 2 x Exp°<br>(environ 70 u)                                  | 1 x Exp°<br>(environ 35 u)     | 0,5 x Exp°<br>(environ 15 u)     | 0 |
| CEC (meq/100 g)   | Teneurs en K <sub>2</sub> O dans le sol                     |                                |                                  |   |
|   | T renforcé  | T réduit                       | T impasse                        |   |
| CEC < 8   | 120 ppm   | 160 ppm                        | 200 ppm                          |   |
| 8 < CEC < 11  | 150 ppm   | 210 ppm                        | 260 ppm                          |   |
| 11 < CEC < 15   | 180 ppm   | 260 ppm                        | 330 ppm                          |   |
| CEC > 15  | 200 ppm   | 300 ppm                        | 400 ppm                          |   |
| Apports de K <sub>2</sub> O<br>(unités ou kg/ha)                                    | 1,5 x Exp°<br>(environ 270 u)                               | 1 x Exp°<br>(environ 180 u)    | 0,5 x Exp°<br>(environ 90 u)     | 0 |

|               |   |   |                                       |   |    |
|---------------|---|---|---------------------------------------|---|----|
| <b>TOMATE</b> |  | <b>Teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ou P) dans le sol</b> |                                       |   |    |
|               |   | <b>T renforcé</b><br>50 ppm<br>(21 ppm)                         | <b>T réduit</b><br>80 ppm<br>(35 ppm) | <b>T impasse</b><br>130 ppm<br>(55 ppm) |    |
|               | <b>Apports de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b><br>(unités ou kg/ha) →               | 1,5 x Exp°  | 1 x Exp°                              | 0,5 x Exp°                              | 0  |
|               | <b>CEC (meq/100 g)</b>  | <b>Teneurs en K<sub>2</sub>O dans le sol</b>                    |                                       |   |    |
|               |   | <b>T renforcé</b><br>120 ppm                                    | <b>T réduit</b><br>160 ppm            | <b>T impasse</b><br>200 ppm             |    |
|               | CEC < 8   | 150 ppm   | 210 ppm                               | 260 ppm                                 |    |
|               | 8 < CEC < 11  | 180 ppm   | 260 ppm                               | 330 ppm                                 |    |
|               | 11 < CEC < 15   | 200 ppm   | 300 ppm                               | 400 ppm                                 |    |
|               | CEC > 15  |   |                                       |   |    |
|               | <b>Apports de K<sub>2</sub>O</b><br>(unités ou kg/ha) →                           | 1,5 x Exp°  | 1,2 x Exp°                            | 0,8 x Exp°                              | 0* |

\*ne pas faire 2 années d'impasse consécutives sur les cultures d'été. Si impasse l'été n-1, suivre T RED l'année n (0,8 x exportations)

**LEGENDE**

- **T Renforcé** : teneur dans le sol en-dessous de laquelle la fertilisation doit être soutenue (Apports > Exportations)
- **T réduit** : teneur à partir de laquelle la fertilisation peut être réduite (Apports < Exportations)
- **T impasse** : teneur à partir de laquelle l'impasse de fertilisation est préconisée (pas d'apports)
- **Exp°** : Exportation de l'élément par la culture (Cf tableau 1)

**3 – Calculer les apports**

- Calculer les exportations théoriques à partir du rendement attendu

$$\text{Exportations P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O (u/ha)} = \text{Rendement (t/ha)} \times \text{Teneur en P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O (u/t)}$$

*Tableau 1 : Aide au calcul des exportations en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O pour les cultures de laitue et de tomate*

|   | Rendement (t/ha)  | Teneur en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ou K <sub>2</sub> O (unités/t de matière fraîche) | Exportation calculée (unités/ha)  |
|---|---|---|---|
| <b>LAITUE</b>  | En moyenne <b>49 t/ha</b><br>(salade de 350 g, densité de 14 salades/m <sup>2</sup> ) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 0,7 u/t<br>K <sub>2</sub> O : 3,65 u/t                    | En moyenne<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 35<br>K <sub>2</sub> O : 179                                    |
| <b>TOMATE</b>  | Entre <b>100 et 180 t/ha</b> de fruits  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 0,8 u/t   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 0,8 * Rdt (t fruits/ha)<br>K <sub>2</sub> O : 4,08 * Rdt (t fruits/ha) - 48,2 |

- Calculer les apports en fonction du conseil des grilles et des exportation théoriques

Le projet REVEIL s'est déroulé de 2018 à 2022 et a été financé avec le concours de l'Union Européenne avec le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural et de la Région SUD-PACA.

Il a permis de poser les bases d'un référentiel technique simple pour les choix de doses de phosphore (P) et potassium (K) à apporter à la tomate et à la laitue. Ce projet a également permis de mieux connaître la variabilité génétique d'efficacité d'absorption et d'utilisation des éléments P et K pour ces cultures.

Les partenaires du projet REVEIL sont l'APREL, le CETA des maraîchers de Chateaufort, le GRAB, le CTIFL et l'INRAE. Le projet a été labellisé par le RMT Fertilisation et environnement et le GIS PICléq.



L'Europe investit dans les zones rurales

**Réalisation (juin 2022) :** Claire Goillon, Aurélie Rousselin (APREL), François Lecompte (INRAE), Hélène Vedie (GRAB), Thierry Corneille (CETA de Chateaufort)

**ANNEXE 3 : Calendrier de traitement réalisé sur la culture de laitue 2023-2024**

|          |         |                     | Lirrique              | Producteur            |
|----------|---------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| stade    | Date    | Cible               | Produit               | Produit               |
| avant P° | 12-nov  | escargots           | Ferramol              | Ferramol              |
| P°       | 13-nov  | Sclerotinia         | Contans               | Contans               |
| P° + 2j  | 15-nov  | Pucerons            | <b>Decis Protech</b>  | <b>Decis Protech</b>  |
| P° + 8j  | 22-nov  | Rhizoctonia/Nem     | <b>Luna sensation</b> | <b>Luna sensation</b> |
| P° + 22j | 30-nov  | Bremia              | <b>Previcur</b>       | <b>Previcur</b>       |
| P° + 43j | 21-déc  | Pourritures         | <b>Signum</b>         | <b>Signum</b>         |
| P + 70j  | 17-janv | Bremia              | <b>Revus</b>          | <b>Revus</b>          |
|          | 17-janv | Pucerons            | <b>Decis Protech</b>  | <b>Decis Protech</b>  |
|          |         | IFT insect          | 2                     | 2                     |
|          |         | IFT fongi           | 4                     | 4                     |
|          |         | IFT biocontrôle     | 2                     | 2                     |
|          |         | <b>IFT chimique</b> | <b>6</b>              | <b>6</b>              |