Manuel de CULTURE à la ferme

La nourriture minérale de la spiruline en système conventionnel

Ce mini-guide a été réalisé par la Fédération des Spiruliniers de France, il s'adresse aux producteurs de spiruline pour la conduite de leurs cultures, et concerne des systèmes de productions en bassins peu profonds, sous serre, et en climat tempéré.

Le contenu s'appuie sur des essais conduits en 2013 et 2014 dans trois fermes en Isère et Savoie, en situation réelle de production. Il propose une méthode de suivi analytique des milieux de culture pour apporter une nourriture minérale adaptée aux besoins alimentaires réels de la spiruline.

Il vous permettra de relever, enregistrer, synthétiser et interpréter les résultats obtenus sur vos bassins, et piloter de l'alimentation en fonction de l'évolution de la composition des milieux.

Postulat : les apports de minéraux sont pratiqués au prorata des récoltes et donc des exportations.

Limites : **Ce document est édité avec les connaissances accumulées chez trois producteurs en deux campagnes, en situation réelle de production. Il est nécessairement évolutif et sera complété à l'avenir par de nouvelles mesures.**

La souche cultivée chez les 3 producteurs est la Lonar.
Il a été noté durant toutes ces périodes de tests :

- ✓ Un rendement satisfaisant et régulier au m² (1 à 1,2 kg/m² sur l'année)
- ✓ L'absence de purge sur les campagnes
- ✓ Peu d'incidents, problèmes de filtration et pas de mortalité subite
- ✓ Une régularité dans les apports de minéraux influe favorablement la bonne santé des bassins

Composition du milieu de culture lors de l'ensemencement :

Nature	Formule	Apports	Quantité	Soit concentration de départ pour les minéraux suivis
Perle de Soude	$NaOH$	OH^- (Alcalinité)	1200 g/m^3	
Bicarbonate de Soude	$NaHCO_3$	Carbone (C)	8000 g/m^3	
Sel	$NaCl$		5000 g/m^3	
Urée	$CO(NH_2)_2$	Azote ammoniacal (NH_4^+)	20 g/m^3	NH_4^+ = 12 mg/L
Sulfate Dipotassique	K_2SO_4	Soufre (S) et Potassium (K)	500 g/m^3	K^+= 224 mg/L
Nitrate de Potasse	KNO_3	Azote nitrique (NO_3^-)	2000 g/m^3	NO_3^-=1228 mg/L, K^+ = 772 mg/l
Sulfate de Magnésium	$MgSO_4$	Magnésium (Mg)	200 g/m^3	
Ferleaf	Fer(EDTA)	Fer (Fe)	8 g/m^3	
Phosphate monoammonique	NH_4HPO_4	Phosphate (PO_4^{3-}) et Azote (NH_4^+)	200 g/m^3	NH_4^+ = 31,5 mg/L et $PO4^{3-}$ = 166 mg/L

Le milieu de culture de départ contient donc :

- 43,5 mg/l de NH_4^+
- 1228 mg/l de NO_3^-
- 996 mg/l de K^+
- 166 mg/l de $PO4^{3-}$

Ces données sont importantes pour le suivi ultérieur des bassins sur ces paramètres : elles situent les teneurs de départ.

Au début de l'expérience et à priori, nous apportons un équivalent de nourriture suivant la quantité de spiruline sèche récoltée. Les apports ne sont faits que lorsqu'il y a récolte. Toutes ces prérogatives suivent la méthode Jourdan.

INTRANTS	1kg spiru sèche (eq sec)
Bicarbonate de Soude	3000g
Urée	300g
Sulfate Dipotassique	40g
Sulfate de Magnésium	30g
Phosphate monoammaonique	60g
Ferleaf	10g

1. L'apport d'Azote

1-1 La gestion de l'apport d'urée

L'urée doit idéalement être apportée de manière régulière et à petites doses. Une carence en ammonium va provoquer l'apparition d'agrégats de spiruline flottant dans le milieu, qui disparaissent dès qu'on rajoute à nouveau de l'urée.

Une carence prolongée en ammonium va entrainer l'arrêt de croissance, qui reprendra au bout de quelques jours lorsque la spiruline se mettra à consommer les nitrates présents dans le bassin.

Un goutte à goutte est idéal (facile à réaliser avec un bidon de 20 litres dans lequel on dissout l'urée, muni d'un petit robinet délivrant la solution). La teneur en NH_4^+ dans les bassins peut être contrôlée régulièrement (test avec un spectromètre ou test bandelettes), une fois par semaine c'est bien, elle doit idéalement rester entre 1 et 6 mg/L.

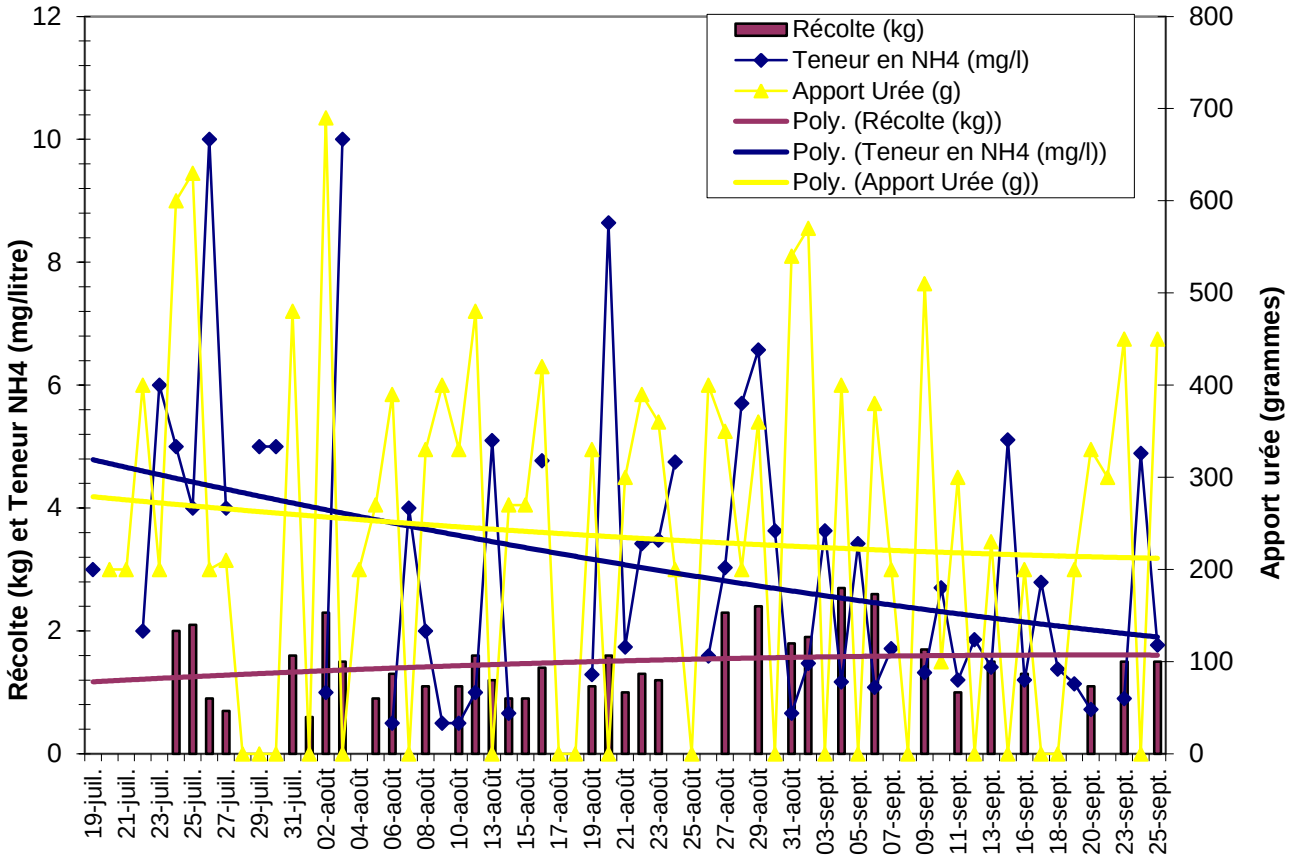
Nous avons constaté dans certains cas une odeur d'ammoniac à partir de 10 mg/L, et dans d'autres l'absence d'odeur avec 25 mg/L. Il semble qu'il y ait une corrélation avec l'agitation du bassin (voie de recherche pour l'avenir !).

- ✓ Trop d'ajout : risque de pertes de l'azote ajouté
  - Odeur d'ammoniac
  - Augmentation des taux de nitrates et nitrites dans le milieu (cycle de nitrification : voir en annexe)
- ✓ Pas assez d'ajout : apparition d'agrégats, risque de polysaccharides

Après nos différents tests nous vous proposons de :

- *Ramener la quantité d'urée à 270 grammes par kilo de spiruline sèche récoltée*
- *De ne pas dépasser un plafond d'apport quotidien = 540 grammes par bassin (soit pour 2 kilos eq sec)*

Si la récolte est supérieure et nécessite un apport plus important mieux vaut l'échelonner sur plusieurs jours.



Ce graphique un peu complexe illustre les constats suivants :

- *L'apport d'urée le jour N entraine l'augmentation du taux d'ammonium le jour suivant (très logique)*
- *Le plafonnement des apports d'urée entraine progressivement la baisse des taux d'ammonium disponible. On constate également une hausse de la production (constat répété deux fois, donc à confirmer). Il semblerait donc que le maintien d'un taux d'ammonium assez bas (inférieur à 6 mg/l) favorise la productivité.*

1-2 La gestion des taux de nitrates et nitrites

Un apport trop important, répété et prolongé d'urée entraine l'augmentation des taux de nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-). Dans l'idéal, le taux de nitrates doit rester au dessous de 2000 mg/L, cela indique que la nourriture azotée est adaptée aux besoins de la spiruline, et laisse une réserve d'azote assimilable dans le milieu, indispensable si vous conservez vos bassins en hiver.

Mesurez régulièrement le taux de nitrates (bandelettes ou spectromètre), tous les 15 jours c'est un bon rythme. Si le taux de nitrates augmente régulièrement, réduisez les apports d'urée. Refaites une mesure au bout de 2 semaines. Lorsque vous avez un taux de nitrates stable, vous avez trouvé le bon rythme et les quantités adaptées à ce que votre spiruline consomme.
Il en est exactement de même pour les nitrites.

2. *L'apport de phosphore (sous forme de phosphate monoammonique)*

Les doses usuelles pratiquées jusqu'à présent sont beaucoup trop importantes.

Le test phosphate est très utile (test colorimétrique, voir références et photos en annexe). Le taux de phosphore de départ (166 mg/L de PO_4^{3-}) est largement suffisant pour alimenter la spiruline pendant une longue période.

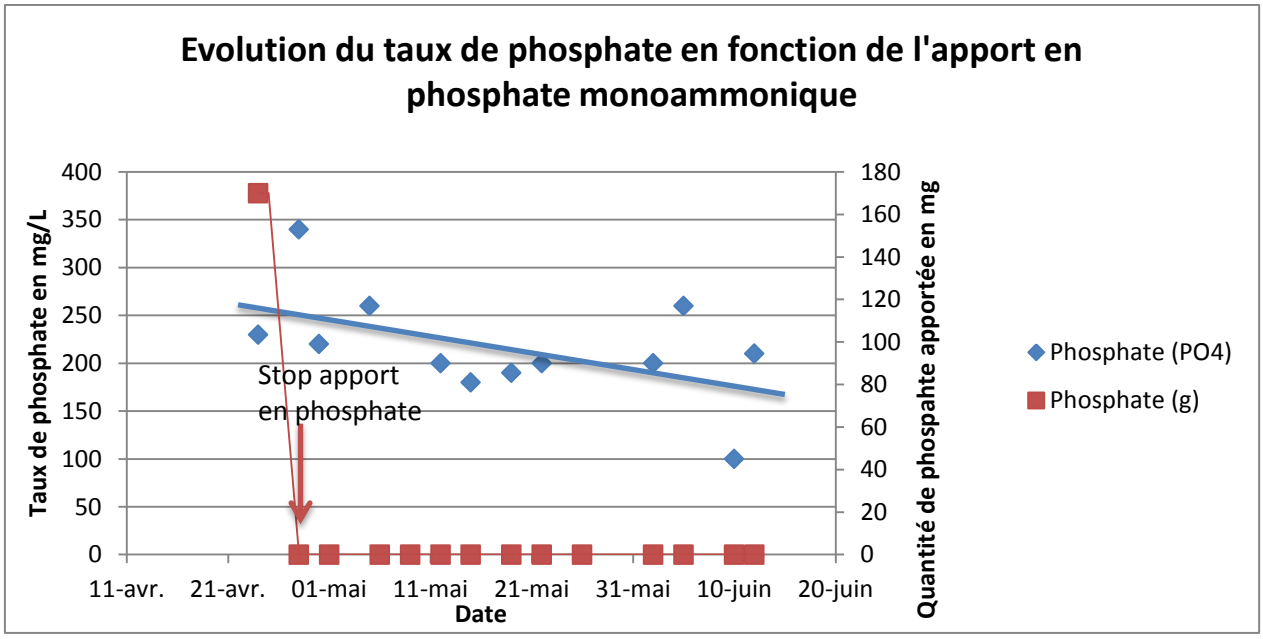
Au-delà d'un taux de 100 mg/L, il est tout à fait possible de cesser les apports pendant un mois, puis faire des mesures de contrôle toutes les deux semaines. Il suffit d'apporter à nouveau du phosphate monoammonique dès que l'on s'approche de 0 mg/L de PO_4^{3-}.

Une carence en phosphore se manifeste de la façon suivante : la spiruline est magnifique dans le bassin (belle couleur, bel aspect au microscope)… mais ne pousse absolument pas. Un rajout de phosphate mono conduit à une reprise de la croissance dans les trois jours.

Les mesures d'exportation faites en 2013 montre une consommation réelle comprise entre **24 et 31 grammes/kg sec** de phosphate monoammonique.

Après nos différents tests nous vous proposons de :

- ***Ramener la quantité de phosphate monoammonique à 30 grammes par kilo de spiruline sèche récoltée.***
- ***L'apport peut se faire une fois par semaine (ou tous les 15 jours), toujours en fonction du poids récolté.***



Ce graphique montre que l'arrêt complet des apports de phosphate mono conduit à une baisse très progressive du taux de phosphore disponible (les carrés rouges matérialisent une récolte).
Ce type de mesure a été répété trois fois et conduit toujours au même type de courbe.

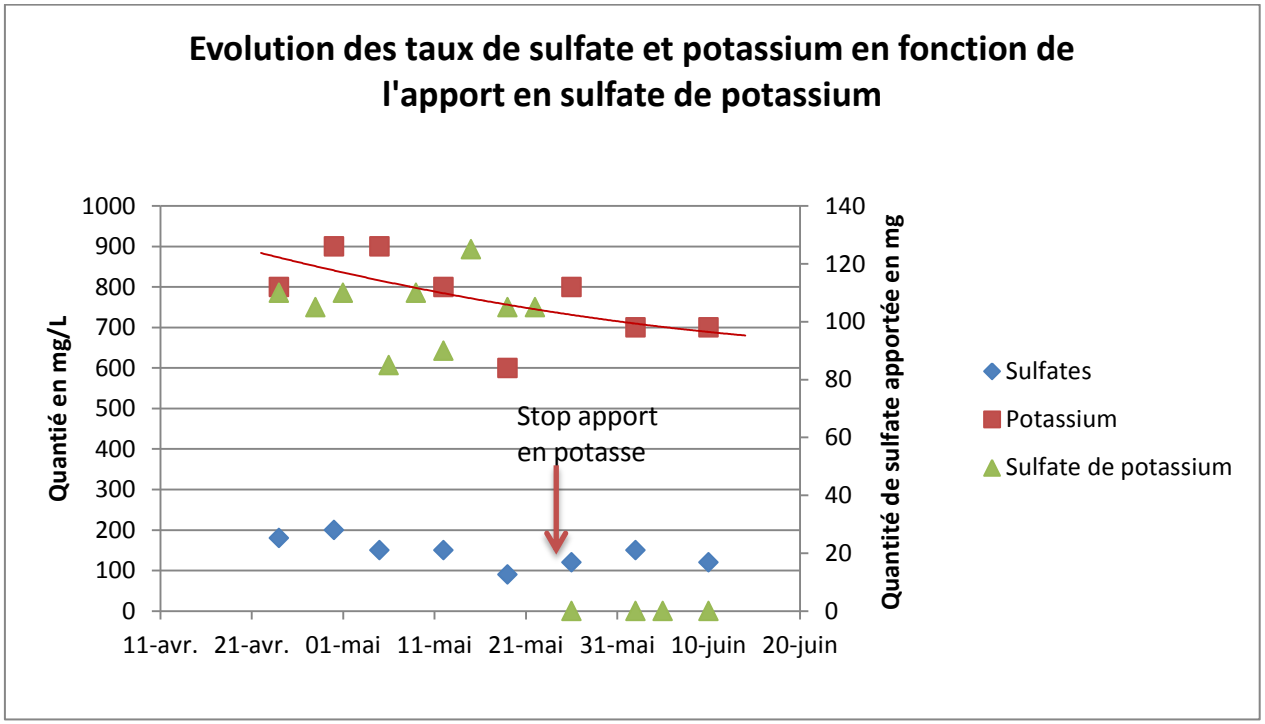
Nous avons également constaté que la spiruline cesse sa croissance (manifestation d'une carence en phosphore) au taux de 0 mg PO_4^{3-}/L (deux répétitions). Il y a donc de la marge !

3. *L'apport de Potassium (sous forme de sulfate de potasse)*

En respectant les doses recommandées de 40 g de K_2SO_4/kg de spiruline sèche, les quantités de potassium augmentent dans le milieu avec le temps. Les quantités apportées sont sûrement trop importantes car des arrêts d'apport d'une semaine ne changent rien.

Après nos différents tests nous vous conseillons de :

- ✓ *En supprimant 1 apport sur 4 de sulfate de potasse, on arrive à stabiliser le taux de potassium*



4. L'apport de Magnésium (sous forme de sulfate de magnésium) et l'apport de fer (sous forme de ferleaf)

Pas de suivi réalisé pour le moment : appel aux bonnes âmes et aux volontaires curieux !

5. L'apport d'Argile

Des suivis de bassins ont été menés de manière curative (ponctualité de l'ajout) et d'autres de manière préventive (régularité dans l'ajout) et nous n'avons pas observé de différence notable sur la campagne 2014.

ANNEXES

✓ *Le cycle de nitrification*

NH_4^+ (ammoniac) ⇨ NO_2^- (Nitrites) ⇨ NO_3^{2-} (Nitrates)

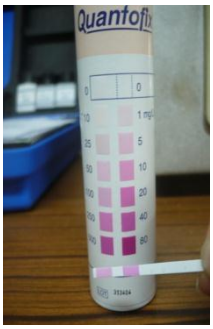
Quand on ajoute de l'urée (azote sous forme d'ammoniac) la spiruline consomme ce dont elle a besoin, ce qui n'est pas consommé se transforme selon ce cycle. Si l'ajout d'urée est trop important vous allez augmenter votre taux de nitrates dans votre bassin.

Par contre ce cycle doit se faire dans un milieu suffisamment oxydant (riche en oxygène), c'est-à-dire avec une agitation optimum. Plus votre bassin sera profond plus l'agitation devra être importante.

✓ *Le suivi des teneurs*

N.B. : un spectrophotomètre a été acheté par la Fédération et est à la disposition des adhérents.

Après prélèvement du milieu de culture (filtrat de récolte) il faut à nouveau filtrer afin d'en éliminer la spiruline restante à l'aide de filtres à café. Les taux d'ammoniac, de nitrates et de nitrites sont approchés à l'aide de tests bandelettes. Ces tests approximatifs permettent ensuite de réaliser une dilution du filtrat pour pouvoir obtenir des résultats plus précis au spectrophotomètre.



Cette dilution sera effectuée selon la concentration approximative de nitrates et d'ammoniac pour entrer dans les plages de mesures du spectrophotomètre. Les tests nitrites peuvent être réalisés uniquement sous forme de bandelettes car ce taux est moins important et une connaissance approximative de la concentration dans la culture est suffisante.

Les tests au spectrophotomètre sont réalisés avec des produits et des matériaux adaptés au spectrophotomètre pf-3 utilisé. Ils se déroulaient de cette façon :

- **Ammonium**

Prélever 1 mL de l'échantillon à analyser et le mettre dans une cuve à fond rond contenant déjà le réactif initial.
Ajouter une pastille de R2.
Agiter.
Après quinze minutes d'attente, lire au spectrophotomètre.

- **Nitrates**

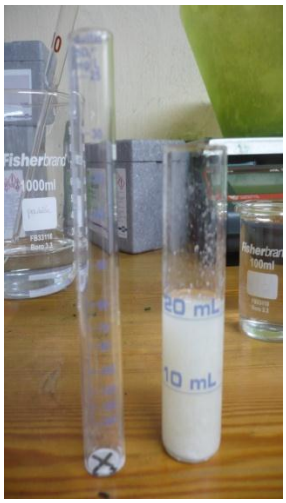
Prélever 500 microlitres de l'échantillon à analyser et le mettre dans une cuve à fond rond contenant déjà le réactif initial.
Ajouter 500 microlitres du réactif R2.
Agiter.
Après dix minutes d'attente, lire au spectrophotomètre.

- **Phosphate**

Prélever 500 microlitres de l'échantillon à analyser et le mettre dans une cuve à fond rond contenant déjà le réactif initial.
Ajouter la pastille R3.
Ajouter 200 microlitres du réactif R4.
Agiter.
Après dix minutes d'attente, lire au spectrophotomètre.

- **Sulfate**

Rincer plusieurs fois l'éprouvette avec l'échantillon à analyser et la remplir jusqu'à la graduation de 20 Ml.
Ajouter dix gouttes du flacon de SO_4- et mélanger.
Ajouter une grande cuillère de mesure remplie à ras bord de SO4 et la dissoudre en secouant.
Après 1 minute, verser la solution dans la cuve de mesure jusqu'à ce que la croix noire au fond ne soit plus visible (vue du dessus).
Lire la teneur en sulfate sur l'échelle de la cuve de mesure.



- **Potassium**

Mettre dans une cuve à fond rond le potassium 50 sous forme de poudre (une cuillère de mesure).
Ajouter 2 mL de l'échantillon à analyser.
Agiter.
Après deux minutes d'attente, lire au spectrophotomètre.

✓ *Mode opératoire pour faire un milieu de culture « Jourdan » qui ne blanchit pas.*

Donc où il se produit peu de précipitation et d'insolubilisation de minéraux

FICHE TECHNIQUE :

Quantités par m^3 d'eau A INCORPORER DANS CET ORDRE

(agitation en marche) pH final environ 9,65

Perles de soude (ou de potasse)	1,2 kilo
PAUSE si on veut que le pH élevé (env. 13) « désinfecte » le bassin, 1 heure minimum	
Bicarbonate de soude (ou de potassium)	8 kilos
Sel marin	5 kilos
PAUSE, laisser mélanger 1 heure	
Nitrate de potasse	2 kilos
Sulfate de potasse	0,5 kilo
Sulfate de Magnésie	200 grammes
Urée	20 grammes
Ferleaf	8 grammes
Argile (optionnel)	300 grammes
PAUSE, laisser mélanger 5 heures	
Phosphate monoammonique	200 grammes