

ISARA-Lyon  
23, rue Jean Baldassini  
69364 LYON CEDEX 07

AgroBio 35  
12, avenue des Peupliers,  
35510 Cesson-Sévigné

## **Etude des pratiques de fertilisation azotée en maraîchage biologique diversifié**

Cas d'un groupe de douze maraîchers en Ille et Vilaine

Mémoire de Fin d'Etudes  
46ème promotion (2017-2018)  
18 septembre 2018  
Nom de l'enseignant Responsable :  
Anthony ROUME

DELPECH Lilian  
Elève ingénieur ISARA-Lyon  
Nom de la Directrice de Mémoire :  
Danielle BRETON

*Ce document ayant été réalisé par des Elèves-Ingénieurs de l'ISARA-Lyon dans le cadre d'une convention avec Agrobio 35, toute mention, communication ou diffusion devra faire état de l'origine ISARA-Lyon.*

## Table des matières :

<b>Table des matières :</b>	3
<b>Remerciements</b>	4
<b>Table des abréviations</b>	4
<b>I. Introduction et contexte</b>	5
<b>II. Etat des connaissances</b>	8
A. Systèmes de culture étudiés	8
B. Fertilité des sols et fertilisation	8
C. Fertilisation azotée des cultures	9
D. Fertilisation azotée et sensibilité aux bioagresseurs	14
<b>III. Méthodologie retenue et mise en œuvre</b>	17
A. Description du groupe DEPHY	17
B. Recueil des systèmes de culture et bioagresseurs rencontrés	17
C. Prélèvements et tests Nitrachek®	18
D. Analyse des courbes de minéralisation	20
E. Analyse des pressions des bioagresseurs observées	23
F. Essai fertilisation sur culture de chou rouge et chou de milan	23
<b>IV. Résultats et interprétations</b>	26
A. Analyse des courbes de minéralisation de l'azote	26
B. Analyse des pressions des bioagresseurs observées	38
C. Essai fertilisation sur culture de chou rouge et chou de milan	41
<b>V. Discussion des résultats</b>	46
A. Liens entre pratiques des maraîchers et dynamiques de minéralisation	46
B. Analyse des pressions des bioagresseurs	48
C. Essai fertilisation sur culture de chou rouge et chou de milan	49
D. Limites et incertitudes	50
E. Propositions de travail pour l'avenir du groupe	54
<b>VI. Qualité de vie au travail (QVT) et Management</b>	56
<b>VII. Conclusion</b>	58
<b>VIII. Bibliographie</b>	60
<b>IX. Table des illustrations</b>	66
<b>Annexes</b>	67
<b>Table des annexes</b>	67
<b>Bibliographie des annexes</b>	114

## Remerciements

Je tiens à adresser mes remerciements particuliers à ma directrice de mémoire, Danielle Breton, et à mon enseignant responsable, Anthony Roume, pour leurs encadrements de qualité, leurs disponibilités ainsi que leurs conseils précieux pour la rédaction de ce présent mémoire.

Je remercie les producteurs avec qui j'ai pu travailler pour les connaissances qu'ils m'ont apportées, leur implication dans le projet collectif et le temps qu'ils m'ont consacré.

Je voudrais remercier également l'ensemble de l'équipe d'Agrobio35, Agrobioconseil et de la FRAB pour l'accueil qu'ils m'ont réservé et leur sympathie. Mes remerciements particuliers à Gaëtan Johan et à William Parmé à titre personnel ainsi que pour les réflexions et avis qu'ils m'ont apportés.

## Table des abréviations

MO : Matière Organique

PC : Plein Champ

SA : Sous Abris

EV : Engrais Vert

SDC : Système De Culture

CI : Culture Intermédiaire

Les termes de sensibilité aux bioagresseurs ainsi que pression des biogresseurs seront utilisés dans cette étude pour désigner de façon générale un lien entre fertilisation et impact des bioagresseurs sur les cultures.

Le terme de planche de culture sera ici utilisé pour désigner un espace de culture, surélevé ou non, d'une largeur généralement comprise entre 1,2 et 1,4 mètres sur lequel un ou deux rangs de légumes sont cultivés.

## I. Introduction et contexte

Le département d'Ille et Vilaine comptait 114 exploitations productrices de légumes bio ou en conversion en 2016 (Réseau GAB/FRAB, 2017) représentant une surface de 631 ha cultivés en bio (Agence bio, 2017) s'inscrivant dans une dynamique de croissance importante du secteur ces dernières années. On peut distinguer deux principaux types de productions légumières biologiques en Ille et Vilaine, une production légumière de PC<sup>1</sup> constituée d'exploitations de grande taille, plusieurs dizaines d'hectares, fonctionnant sur un SDC<sup>2</sup> comptant un nombre limité de légumes cultivés (environ une dizaine d'espèces). Un deuxième type d'exploitation est représenté par des exploitations d'une taille comprise entre 1 et 10 ha cultivant plus d'une trentaine d'espèces de légumes, commercialisant majoritairement en circuits courts (AMAP, marchés, vente directe à la ferme, restauration collective locale).

Toute exploitation en agriculture biologique du département peut choisir d'être accompagnée par Agrobio 35, le groupement des agriculteurs biologiques d'Ille et Vilaine. Il s'agit d'un organisme de développement agricole s'inscrivant, comme tous les GAB<sup>3</sup> au sein d'un réseau plus large ; d'abord régionalement, au sein de la FRAB<sup>4</sup>, dans le cas d'Agrobio 35 et nationalement au sein du réseau FNAB<sup>5</sup>.

Les principales missions d'Agrobio 35 sont :

- L'accompagnement des agriculteurs biologiques d'Ille et Vilaine et des porteurs de projet à travers une aide à la conversion, à l'installation et à la transmission, un accompagnement technico-économique, des formations, un échange de savoir-faire et de compétences.
- Le développement de la production biologique en Ille-et-Vilaine : actions de recherche et d'expérimentation, organisation d'événements, démonstration de matériel, promotion de l'agriculture biologique.
- La mise en place et accompagnement de filières bio et locales, l'accompagnement des consommateurs vers une alimentation biologique en tenant compte de leur budget (Agrobio 35, 2017 ; Chloé Chatton, 2016).

Ce présent travail s'inscrit au sein de la première mission précédemment citée, l'accompagnement des producteurs biologiques.

Plus précisément, Agrobio 35 anime, depuis juillet 2016, un groupe constitué de 12 maraîchers. Ce collectif est rassemblé, au sein du dispositif Ecophyto DEPHY Ferme, le

---

<sup>1</sup> PC : Plein Champ

<sup>2</sup> SDC : Système De Culture

<sup>3</sup> GAB : Groupement d'Agriculteurs Biologiques

<sup>4</sup> FRAB : Fédération Régionale Des Agrobiologistes de Bretagne

<sup>5</sup> FNAB : Fédération Nationale d'Agriculture Biologique des régions de France

financeur du projet est l'état français qui représente le financeur majoritaire d'AB35 en 2017 (17% du financement total). Les moyens financiers de l'association en 2017 sont détaillés en annexe 1.

Le réseau des fermes DEPHY a été mis en place pour remplir trois objectifs principaux : Démontrer qu'il est possible de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires sur des exploitations ; Expérimenter des systèmes de cultures économes ; Produire des références sur les systèmes utilisant peu de ces produits (Alim'agri, 2018).

Les exploitations agricoles biologiques remplissent tout à fait ces objectifs attendus puisqu'étant en général moins consommatrices de produits phytosanitaires que les exploitations conventionnelles. C'est en tout cas valable pour le groupe de maraîchers suivi par Agrobio35.

Ce réseau de fermes DEPHY s'inscrit dans le plan Ecophyto. Actuellement, c'est le plan Ecophyto II initié en 2015 qui est en cours d'application. Il vise à une réduction du recours aux produits phytosanitaires en deux étapes ; 25 % d'ici 2020 et 50 % à l'horizon 2025.

Ce second plan Ecophyto prévoit notamment d'augmenter le nombre d'exploitation au sein du réseau DEPHY fermes, 3 000 fermes doivent être impliquées soit 1100 fermes de plus que celles faisant parti du premier plan. Ce second dispositif a aussi souhaité augmenter le pourcentage d'exploitations en agriculture biologique engagées (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2015).

C'est dans ce contexte que le groupe accompagné par Agrobio 35 a été formé en 2016. Le collectif est constitué de 12 maraîchers en production biologique diversifiée qui ont choisi d'orienter le travail autour de la problématique « Comment mieux nourrir son sol pour améliorer sa fertilité et limiter le développement des maladies, ravageurs et adventices ? ».

Les différentes étapes du projet sont détaillées en figure 1 :

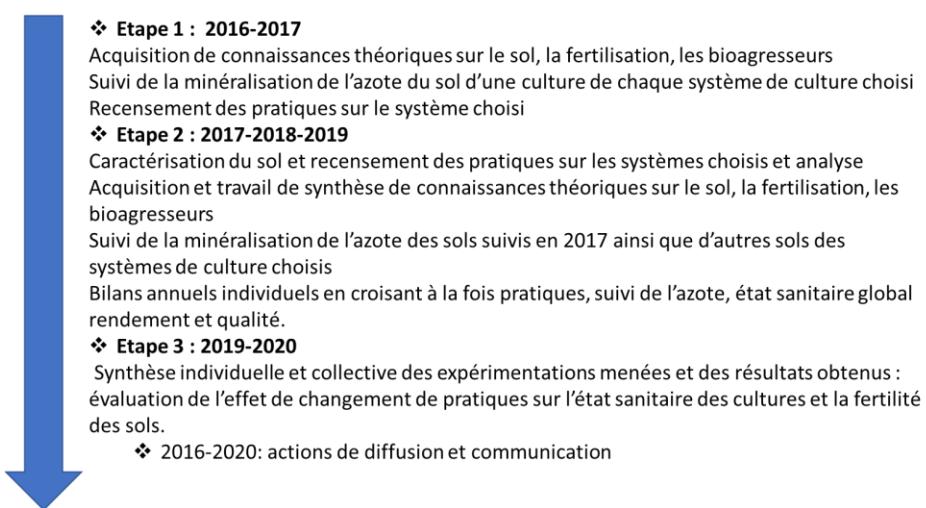


Figure 1 : Principales étapes du projet collectif

Ce présent travail s'inscrit au sein de l'étape 2 du projet.

Partant du postulat que la fertilisation apportée a un impact sur la sensibilité des cultures maraîchères aux maladies, ravageurs et adventices, les maraîchers du groupe s'interrogent si le fait de modifier leurs pratiques de fertilisation ne leur permettrait pas de réduire cette sensibilité. Les objectifs de ce groupe étant les suivants :

- Analyser les systèmes de culture et notamment les pratiques de fertilisation des maraîchers du groupe
- Créer une dynamique d'échange et de partage sur la fertilité des sols et la santé des plantes
- Diffuser les résultats obtenus auprès des maraîchers du groupe et d'un public plus large

L'objectif principal étant de permettre aux maraîchers du groupe de mieux comprendre l'impact de leurs pratiques de fertilisation sur la satisfaction des besoins azotés des légumes et sur leur état sanitaire, afin de pouvoir envisager éventuellement des optimisations de fertilisation.

Dans ce contexte, nous nous intéresserons ici au fonctionnement des systèmes de culture des maraîchers du groupe. Il s'agira de se demander, à partir de l'analyse de ces systèmes et notamment des pratiques de fertilisation :

**Quels sont les liens qui peuvent être établis entre évolution des taux d'azote minéral des sols observés et pratiques des maraîchers ?**

**Quelles relations peuvent être faites avec les besoins azotés de la culture, ainsi qu'avec l'observation de maladies, ravageurs et adventices ?**

Au sein de ce travail, on s'intéressera principalement à la fertilisation azotée, en considérant toutefois que les pratiques de fertilisation azotée des maraîchers du groupe sont indissociables d'un apport d'autres éléments minéraux.

Il sera important dans un premier temps d'établir un état des connaissances bibliographiques nécessaires à la compréhension et à la réalisation de ce travail. La méthodologie respective des principales missions confiées sera ensuite décrite. Les résultats de l'étude seront finalement présentés et discutés.

## II. Etat des connaissances

### A. Systèmes de culture étudiés

Un système de culture peut être défini comme un « ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique.

Chaque système se définit par :

- la nature des cultures et leur ordre de succession,
- les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures » (Sebillotte, 1990).

Les itinéraires techniques étant eux-mêmes définis comme « des combinaisons logiques et ordonnées de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée » (Sebillotte, 1974).

Les systèmes de culture étudiés sont des systèmes maraîchers diversifiés caractérisés notamment par un grand nombre d'espèces cultivées à la fois sous tunnels non chauffés et en PC. La diversité des cultures pratiquées engendre une complexité des systèmes de cultures. De ce fait, le raisonnement de la fertilisation en maraîchage biologique diversifiée est assez complexe. Chaque espèce étant caractérisée par sa propre longueur de cycle, ses besoins en minéraux, et les restitutions de ces résidus de culture. Les temps d'interculture sont aussi très variables en fonction de l'intensification. « Une même parcelle pourra porter annuellement une à trois cultures selon le SDC, la longueur du cycle, la possibilité de rotation. » (Berry, 1998).

En sachant que les systèmes SA<sup>1</sup> sont la plupart du temps plus intensifs que ceux de PC.

### B. Fertilité des sols et fertilisation

Un sol peut être défini comme fertile :

- « s'il présente une biocénose diversifiée et biologiquement active, une structure typique [...] et une capacité de dégradation intacte ;
- s'il permet aux plantes et aux associations végétales naturelles ou cultivées de croître et de se développer normalement et ne nuit pas à leurs propriétés ;
- si les fourrages et les denrées végétales qu'il fournit sont de bonne qualité et ne menacent pas la santé de l'homme et des animaux » (Gobat J-M. et al., 2010).

La fertilité d'un sol est généralement caractérisée à travers trois composantes principales qui interagissent entre elles :

- Une composante physique : la plus ou moins grande facilité à créer et/ou maintenir un état physique adapté au SDC pratiqué (D'après Monnier et al. 1981 dans Schwartz et al. 2005).

---

<sup>1</sup> SA : Sous abris

- Une composante chimique : l'aptitude du sol à fournir des éléments nutritifs disponibles en quantités suffisantes
- Une composante biologique : « l'abondance, la diversité et l'activité des organismes vivants qui participent au fonctionnement du sol » (Chaussod, 1996).

La fertilité du sol et ses propriétés résultent d'interactions complexes entre ces trois composantes et plus concrètement entre la vie du sol, la MO<sup>1</sup>, les particules minérales du sol et l'atmosphère. Les principales interactions sont identifiées dans le schéma en annexe 2.

Les exports des cultures réalisés par l'homme dans les milieux cultivés, particulièrement importants dans le cas des cultures légumières, justifient un besoin d'apport au sol, d'où la nécessité de fertiliser. La nécessité de raisonner et de limiter la fertilisation s'imposant à la fois pour des raisons agronomiques, économiques et environnementales.

### **C. Fertilisation azotée des cultures**

La fertilisation doit être raisonnée aux niveaux des éléments majeurs : azote (N), phosphore (P) et potassium (K) tout en veillant à ceux que les oligo-éléments : Fer, Manganèse, Bore, Cuivre, Zinc, et Molybdène soient présents en quantité suffisante dans le sol et assimilables par les plantes. Les besoins en éléments majeurs (N, P, K) des principales espèces de légumes ainsi que leurs restitutions azotées sont disponibles en annexe 3.

Bien que tout raisonnement de la fertilisation soit important, le raisonnement des apports azotés est prépondérant ; aussi, par simplification, l'étude réalisée se concentre sur la fertilisation azotée. La mobilisation azotée des cultures représentant dans la majorité des cas le poste principal responsable des diminutions des taux d'azote minéral des sols cultivés.

### **Cycle de l'azote**

Le cycle de l'azote dans une parcelle cultivée est représenté par un ensemble de flux d'entrées et de sorties. L'azote est présent dans le sol soit sous forme organique (matières organiques, êtres vivants du sol, engrais, produits de la vie du sol et des racines) soit sous forme minérale (ammoniacale, nitrite ou nitrate). Ces différentes formes, leurs interactions ainsi que les voies d'entrées et sorties d'azote au niveau du sol sont résumées au sein de la figure 2 ci-dessous :

---

<sup>1</sup> MO : Matière organique



Figure 2 : Le cycle de l'azote : voies d'introduction, de transformation et de pertes en Agriculture Biologique (Agro transfert, 2016)

Un ensemble de processus participent à l'apport d'azote minéral dans le système :

- la minéralisation de la MO du sol : MO exogène ou apportée, résidus de culture, MO humifiée et vie du sol
- la fixation du diazote atmosphérique par des bactéries symbiotiques (entre 10 et 300 kg N/ha/an) ou par des organismes libres (<10 kg N/ha/an).
- les apports d'azote sous forme minérale des engrains et amendements organiques
- les dépôts d'azote atmosphérique (majoritairement apportés par les pluies entre 5 et 15 kg N/ha/an).

D'autres flux contribuent à la sortie de l'azote minéral des parcelles :

- La mobilisation par les cultures
  - L'organisation de l'azote minéral dans la biomasse microbienne
  - La volatilisation de l'azote ammoniacal. C'est le processus de transformation de l'ammonium ( $NH_4^+$ ) en  $NH_3$ , élément gazeux qui va être libéré dans l'atmosphère. Ce processus peut être très important en surface après un apport massif de MO non incorporée au sol contenant une part importante d'urée ou d'azote ammoniacal (lisier ou fumier frais).
  - Les pertes d'azote sous forme gazeuse au cours des processus biologiques de dénitrification (0 à 20 kg N/ha/an en sol bien drainé) et de nitrification
  - La lixiviation des nitrates est l'entraînement en profondeur de la solution du sol et donc des nitrates qu'elle contient par percolation en cas d'excès d'eau
- (COMIFER, 2013; Bottomley & Myrold, 2007 In Vian, 2015).

## Minéralisation de l'azote

Au sein de ces flux généraux d'entrées et sortie du cycle de l'élément azote, différents processus de transformation de l'azote existent :

Tout d'abord, la minéralisation de la MO consiste au passage de l'azote sous sa forme organique à une forme d'azote minérale. Elle est constituée de deux phases :

La première conduisant à la forme d'azote ammoniacale, est réalisée par de nombreux organismes du sol. L'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), chargé positivement, va pouvoir être fixée aux particules solides du sol qui présente une grande majorité de site de fixation négatifs. Cette forme d'azote peut être absorbée par les cultures, ce n'est cependant pas leur forme préférentielle d'absorption mais celle des champignons et micro-organismes du sol.

La forme ammoniacale va ensuite évoluer en nitrite puis nitrate, ce processus s'appelle la nitrification. Ces processus sont majoritairement réalisés par des bactéries en condition aérobiose obligatoire. Un premier groupe de bactéries, les bactéries nitreuses, vont transformer cette forme ammoniacale en nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), puis les bactéries nitriques vont transformer le nitrite en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Cette transformation de l'ammonium en nitrate va se produire rapidement, environ 1 semaine à 20°C dans des conditions d'aération, d'humidité suffisante et de pH pas trop acide (ph eau > 5,5) (COMIFER, 2013 ; Vian, 2015 ; RAYNAL-LACROIX C., 2011).

Le nitrate est la forme de prélèvement d'azote privilégiée par les plantes, c'est un anion (ion chargé négativement), il est donc peu retenu par les particules solides et est donc majoritairement présent dans la solution du sol, d'où sa sensibilité à la lixiviation. L'apport d'azote minéral, s'il y en a, doit donc se faire au moment et à la quantité correspondant au besoin de la culture. Si l'apport est seulement organique, il faut que la fertilisation soit calculée pour que les processus de minéralisation mettent à disposition l'azote nitrique au moment et en quantité suffisante aux besoins de la plante.

Peut-on raisonnablement se baser uniquement sur le taux de nitrate pour évaluer l'azote disponible d'un sol ? D'après l'étude réalisée par la station expérimentale Caté dans le Finistère, la part d'azote disponible sous forme ammoniacale représenterait environ 9% de l'azote disponible dans les horizons 0-30cm des sols testés, le reste étant du nitrate. L'essentiel de l'azote disponible dans les sols est sous forme nitrique (nitrate) on peut assez justement considérer le taux de nitrate comme une valeur indicative proche du taux d'azote disponible dans le sol en question au moment du prélèvement

(Chambre d'agriculture du Finistère, 2011 ; Pérennec et Estorgues, 2014).

La température est le premier facteur déterminant la minéralisation de l'azote. Dans nos sols cultivés l'activité maximale des micro-organismes est atteinte pour une plage de température comprise entre 25°C et 35°C. « Lorsque la température augmente de 10°C, la minéralisation

de l'azote est multipliée par 3,15 pour des températures inférieures à 25°C. Entre 25 et 35°C, la minéralisation augmente moins rapidement » (Valé et al., 2007).

La réponse de la minéralisation à l'humidité du sol est moins importante que la réponse à la température, elle est aussi très variable selon le pédoclimat. L'optimum d'activité est atteint pour une teneur en eau voisine de la capacité au champ.

De plus, la majorité des micro-organismes à l'origine de la dégradation de la MO sont aérobies tandis que les bactéries de la nitrification travaillent exclusivement en conditions aérobies (Valé et al., 2007 ; ITAB, 2001). Toute pratique susceptible de faire varier ces paramètres va influencer la minéralisation de l'azote dans le sol.

Le travail de sol est connu pour faire diminuer le stock d'azote du sol sur le long terme, cependant très peu d'études se sont concentrées sur l'effet à court terme sur la minéralisation de l'azote. Cet effet court terme se traduit souvent par des augmentations temporaires de cette minéralisation de l'azote organique. Différents facteurs peuvent être l'origine de l'influence des travaux de sols sur la minéralisation de l'azote :

La température du sol, de sa structure, de ses propriétés hydrauliques

La distribution de la MO au sein du sol

La protection physique de la MO au sein d'agrégats (Silgram et Sheperd, 1999).

En parallèle de ce processus de minéralisation, la biomasse microbienne peut aussi mobiliser l'azote minéral du sol afin de répondre à ses besoins, c'est l'organisation. (COMIFER, 2013)

Dans le sol, ces deux processus contraires se déroulent simultanément. Selon, le type de MO dégradée dans le sol, la résultante peut conduire soit à une accumulation d'azote minéral dans le sol, on parle alors de minéralisation nette, soit à une diminution du stock d'azote minéral dans le sol, on parle alors d'organisation nette. Cette résultante est donc étroitement corrélée aux pratiques de fertilisation, les doses et caractéristiques des MO apportées conditionnant le degré d'augmentation ou la diminution des taux d'azote du sol. La base de référence utilisée est souvent le rapport carbone/azote (C/N) de la MO. On considère généralement que la dégradation d'une MO à  $C/N < 15$  résulte théoriquement à une minéralisation nette tandis que des MO à  $C/N > 20$  se manifeste par une organisation nette (processus plus connu sous le terme de faim d'azote). (COMIFER, 2013 ; Vian, 2015 ; ITAB, 2001).

Des références peuvent être trouvées au sein de la base Azopro produite par le CTIFL. Un grand nombre de produits testés conduisent à une minéralisation nette, c'est particulièrement le cas des produits aux C/N faibles (Les 21 engrains organiques conduisent tous à une minéralisation nette de l'azote). La majorité des EV référencés montrent aussi à une minéralisation nette, dans certains cas, ils peuvent cependant conduire à une organisation

nette de l'azote du sol, cas de l'EV de blé pendant les 91 jours normalisés à 28°C et cas de l'EV seigle/vesce jusqu'au 70ème jour normalisé de la base Azopro. L'explication vient de l'espèce utilisée et du stade de destruction, une destruction avant floraison produira une biomasse à C/N plus faible qu'un EV détruit plus tardivement ayant eu le temps de se lignifier. (Réseau GAB/FRAB, 2010)

D'autres produits, généralement à C/N plus importants conduisent à des organisations nettes de l'azote dans le sol. C'est le cas de certains composts de déchets verts, mélanges de compost végétaux, fumiers (en particulier les fumiers frais) (CTIFL, 2018).

## Lixiviation des nitrates

Des modèles existent pour estimer la quantité de nitrate entraînée en profondeur par les précipitations. Le tableau ci-dessous présente le pourcentage d'azote par couche de sol perdu par lixiviation en fonction de la lame d'eau drainante. La lame d'eau drainante peut être considérée comme le cumul des précipitations en mm sur une période considérée où l'évapotranspiration est limitée (souvent le cas pendant l'hiver), une fois que le sol est à sa capacité au champ. La capacité au champ d'un sol correspondant à la quantité maximale d'eau qu'un sol peut contenir dans sa porosité, au-delà, l'eau va percoler au sein de la porosité la plus grossière du sol (COMIFER, 2013).

Type de sol : limoneux															
Taux de lixiviation au-delà de 90 cm															
Lame drainante (mm)	0	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Couche 0-30 cm	0	0	0.1	0.0	0.0	0	4.2	16.1	34.2	53.9	71	83.5	91.4	95.8	98.1
Couche 30-60 cm	0	0	0.1	0.2	0.6	1.5	23.7	51.2	73.3	87.2	94.5	96.1	99.2	99.7	99.9
Couche 60-90 cm	0	11.1	22.2	33.2	43.9	54.1	82.2	94.1	98.3	99.6	99.9	100	100	100	100
Valeur d'humidité à la capacité au champ (HCC) retenue pour ce type de sol : 20% (identique pour toutes les couches)															

Figure 3 : Taux de lixiviation au-delà de 90 cm en sol limoneux (COMIFER 2002 par simulation à partir du modèle LIXIM de l'INRA)

D'après ces modèles, des taux de lixiviation par types de sol et horizon peuvent être établis. Selon la figure 3, présentant ces taux en sol limoneux, 4,2% d'azote de l'horizon 0-30 cm est entraîné au-delà de 90 cm pour une lame d'eau drainante de 100 mm.

Une plus grande sensibilité à la lixiviation hivernale est mise en évidence en sols labourés par rapport à des techniques simplifiées (Colbourn, 1985 ; Catt et al. 1992 et Goss et al., 1988 dans Silgram et Sheperd, 1999). Les engrains verts permettent de réduire efficacement cette lixiviation. (Beaudoin et al., 2005 ; Hansen et Djurhuus 1997)

#### D. Fertilisation azotée et sensibilité aux bioagresseurs

L'effet de la nutrition des plantes sur la sensibilité aux maladies et ravageurs a été étudié depuis de nombreuses années. L'influence de l'azote est particulièrement présente dans la littérature scientifique en raison de l'importance primordiale de l'élément dans la croissance végétale, de sa disponibilité limitée dans le sol et parce que son effet sur la sensibilité aux maladies est assez facilement démontré (C. Dordas, 2008 ; Huber et Watson, 1974 ; Huber et al., 2012). Cependant, il existe de nombreux effets directs et indirects de la nutrition azotée sur la relation hôte-pathogène. Ceci explique que selon la plante et la maladie considérées, une augmentation des apports azotés se traduise par une augmentation ou une réduction de la sensibilité (Walters et Bingham, 2007 ; Huber et Watson, 1974). La forme de l'azote apportée (nitrate ou ammonium) est aussi importante et peut conduire à des effets contraires sur la sensibilité d'une même espèce à une maladie (Raynal et Nicot, 2012 ; Huber et Watson, 1974).

Les principales explications à ces effets variables et spécifiques sont multiples. D'abord la nutrition azotée a un effet sur le développement de la plante et son architecture, pouvant modifier le microclimat au sein de la culture. Une augmentation de la fertilisation azotée induisant un développement de biomasse plus important pouvant réduire l'aération, donc limiter l'évaporation et ainsi favoriser certains pathogènes (Walters et Bingham, 2007 ; Huber et al., 2012).

Lorsque la plante dispose d'un taux plus important d'azote, la proportion de tissus jeunes, plus sensibles, augmentent par rapport aux tissus matures. De plus, lorsque la plante dispose d'une quantité importante d'azote, la concentration en acides aminés à la surface des feuilles et dans l'apoplasm, espace entre les parois cellulaires, augmente de façon significative pouvant favoriser certains bioagresseurs, notamment la germination et la croissance des spores de champignons. Les insectes piqueurs suceurs se développent également mieux lorsque cette concentration en acides aminés est importante (Huber et al., 2012).

Une importante fourniture azotée peut aussi avoir une influence négative sur la synthèse et la concentration de molécules impliquées dans des processus de défense, notamment les composés phénoliques et la lignine (Huber et al., 2012 ; C. Dordas, 2008).

Les effets décrits ci-dessus vont dans le sens d'une plus grande sensibilité aux bioagresseurs lorsque la nutrition azotée augmente. A l'inverse, d'autres facteurs allant dans le sens d'une pression accrue en cas de sous nutrition azotée sont aussi décrits dans la littérature. C'est notamment le cas des pathogènes ayant une préférence pour les tissus sénescents pour se développer et infecter l'hôte (ex : *Alternaria solani* ou *Botrytis cinerea*), qui seront dans ce cas défavorisés par l'augmentation de la nutrition azotée (Huber et al., 2012 ; C. Dordas, 2008).

Bien que ce présent travail se consacre uniquement à l'impact de la fertilisation azotée sur la pression des bioagresseurs, les autres éléments minéraux ont bien sûr également des impacts qui leur sont propres. Tous ces effets sont en interaction et sont difficilement isolables, un effet dû à une modification de fertilisation azoté peut être expliqué, par exemple, par la dilution au sein de la plante ou au blocage d'un autre élément que l'azote.

Le silicium a notamment un impact à travers son rôle de la formation d'une barrière physique au sein des cellules épidermales protégeant notamment les cultures des infestations de champignons et des insectes piqueurs-suceurs. Le potassium a aussi un rôle très important notamment dus à ses fonctions métaboliques, une carence en potassium va conduire à une accumulation de composés organiques à faibles poids moléculaires plutôt que la synthèse de composés plus imposants. Ces petits composés peuvent facilement servir de ressources nutritives pour les parasites et ainsi augmenter la sensibilité de la culture (Huber et al., 2012).

En outre, les effets de la fertilisation sur la sensibilité aux bioagresseurs ne se limitent pas à la nutrition des plantes. L'apport d'amendements ou d'engrais organiques a aussi un impact sur le sol, à la fois sur ses caractéristiques physiques et chimiques mais surtout biologiques, qui se traduit le plus souvent par une diminution de la pression des maladies telluriques.

L'effet « suppressif » de différents amendements est décrit dans la littérature, cet effet est variable selon type d'amendement utilisé et le pathogène considéré. Les composts se montrent les plus efficaces, plus de 50% de suppression pour moins de 12% de stimulation des six champignons pathogènes du sol les plus étudiés dans la bibliographie scientifique. Les effets des amendements de résidus de récoltes et EV<sup>1</sup> conduisent à davantage de cas de stimulation du pathogène (28%). Concernant les pathogènes, les déchets organiques et les résidus de récolte/engrais vert se montrent très efficaces pour réduire les populations de *Verticillium dahliae* tandis que le compost donne les meilleurs résultats pour *Fusarium spp.* (Bonanomi et al., 2007 ; Noble et Coventry, 2010).

Les taux d'application sont aussi importants à prendre en compte, un effet suppressif est constaté à partir de taux plus faibles pour les résidus de récolte/EV et les déchets organiques frais (moins de 5%) tandis qu'il faut davantage de compost pour observer un effet significatif (au moins 20%). L'augmentation des doses conduit généralement à une augmentation de la suppression (hormis pour la tourbe dont l'effet suppressif n'est pas avéré), cependant une diminution de l'effet suppressif peut aussi être corrélée à une augmentation des taux d'application. Cet effet négatif est plus fréquent dans le cas des déchets frais (résidus de récolte/EV et déchets organiques frais) que pour les composts (Bonanomi et al., 2007).

---

<sup>1</sup> EV : Engrais vert

Dans le cas des composts, le pouvoir suppressif sur les pathogènes du sol diminue grandement après traitement à haute température (Reuveni et al., 2002 ; Suárez-Estrella et al., 2014).

Les effets de limitation des maladies observés semblent donc majoritairement dus à une activité biologique.

Les principaux mécanismes en jeu identifiés sont :

- La compétition entre microorganismes du sol pathogènes et non pathogènes pour l'occupation de l'espace et la nourriture.
- Le parasitisme des microorganismes pathogènes par les microorganismes bénéfiques.
- La sécrétion de produits anti microbiens ou anti fongiques par les microorganismes antagonistes.
- L'activation de gènes de résistance aux maladies chez les plantes par les micro-organismes (Hoitink and Boehm, 1999 ; Raviv, 2016).

Pour conclure, la fertilisation azotée peut donc avoir des effets très variés expliquant une modification de la sensibilité aux ravageurs. L'apport de fertilisation azotée peut d'abord modifier les caractéristiques du sol, notamment les populations des différents organismes du sol et leurs activités. La fertilisation a aussi bien sûr un effet sur la nutrition des plantes qui impacte principalement le microclimat au sein du couvert, la défense des plantes et la nutrition du pathogène. Selon le couple pathogène-plante considéré, l'effet sur la sensibilité sera la résultante des interactions entre ces facteurs à une intensité variable.

Un tableau synthétique établissant des liens entre fertilisation azotée (dont la forme d'azote utilisée) et sensibilité aux bioagresseurs pour quelques cultures légumières a été réalisé (annexe 4). Il ressort des références existantes que les liens entre fertilisation azotée et sensibilité aux bioagresseurs sont difficiles à généraliser et doivent être raisonnés au cas par cas.

### III. Méthodologie retenue et mise en œuvre

#### A. Description du groupe DEPHY



Figure 4 : Carte de localisation des maraîchers du groupe (en jaune) et de l'association Agrobio35 (en vert) (Google maps, 2018)

Les 12 fermes des maraîchers du groupe étudié correspondent à des exploitations de maraîchage diversifié. Leur surface cultivée en maraîchage est comprise entre 1,5 et 4 ha. Les exploitations se situent à une distance de 40 km maximum autour de RENNES. (Voir figure 4)

Le nombre d'espèces cultivées est important, plus d'une trentaine d'espèces pour un mode de commercialisation qui se fait majoritairement en circuit court. Ces modes de commercialisation sont variés : AMAP, marchés, magasins de producteur, plateforme de commande en ligne.

#### B. Recueil des systèmes de culture et bioagresseurs rencontrés

Deux grands types de systèmes de culture peuvent être dégagés sur ces exploitations selon qu'il s'agisse de maraîchage de PC ou SA.

Chez chaque producteur, un SDC a été choisi pour être suivi et étudié soit six SDC plein champ et six SDC sous abri.

Chaque SDC occupe une part plus ou moins importante du parcellaire de l'exploitation. Cela peut représenter l'intégralité de la surface cultivée, dans le cas d'une partie des systèmes de PC étudié. Sous abris, ce SDC peut être représentatif de l'intégralité de la surface ou ne représenter qu'une partie des tunnels froids cultivés en fonction de la planification des cultures réalisées par les maraîchers.

Pour chaque SDC, un certain nombre d'informations ont été recueillies :

- les rotations culturales et les itinéraires techniques de chaque culture
- un bilan de campagne, qui consiste principalement à réaliser pour chaque culture du SDC, un bilan des maladies, ravageurs et adventices rencontrés sur l'année de culture. Le bilan de campagne 2017 a ainsi été réalisé.

- à partir du bilan de campagne, un modèle décisionnel a été conçu synthétisant les stratégies de lutte contre les bioagresseurs utilisées par les producteurs.

Ces informations ont été saisies dans des classeurs informatiques et ont été recueillies soit par entretien direct avec les producteurs, (soit 10 d'entre eux), soit par mail, quand ces derniers manquaient de temps à nous consacrer (2 producteurs).

Le recueil de pratiques effectué possède deux principaux objectifs :

- Récolter les informations nécessaires aux attentes du réseau DEPHY. Ces informations doivent être saisies sur la plateforme Agrosyst, développée par l'INRA. Pour l'instant il s'agit surtout d'une base de données, cependant elle vise à terme les calculs, à partir des données saisies, des indicateurs socio-économiques ou de performances (notamment la pression des intrants). Des analyses seront à terme effectuées pour identifier des systèmes économes en pesticides et produire des références (Munier-Jolain et al., 2015).
- Comprendre à partir de ces informations comment travaillent les maraîchers et ainsi analyser leurs systèmes de culture. Elles vont notamment servir de base à la compréhension des courbes de minéralisation réalisés en 2017 ainsi que celles réalisés au cours de l'année 2018. De plus, elles permettront d'avoir une idée de la pression des maladies, ravageurs et adventices observés.

### **C. Prélèvements et tests Nitrachek®**

Pour chaque SDC étudié, un suivi de minéralisation de l'azote a été effectué en 2017 et a été reconduit en 2018. En 2018, d'autres parcelles non suivies en 2017 ont en plus été étudiées chez certains producteurs.

Le choix de la culture suivie a été laissé à chaque producteur dans la mesure où elle s'intégrait dans le SDC choisi. La majorité des producteurs a choisi le suivi d'une de ces cultures pour lequel il souhaitait que l'impact de sa fertilisation soit étudié. On retrouve donc un certain nombre de culture exigeante la première année de suivi (2017). En 2018, ces producteurs ont choisi de continuer le suivi nitrate sur la parcelle déjà suivie en 2017, en ne ciblant pas une espèce particulière mais en cultivant le légume prévu dans leur rotation. Un seul producteur a fait le choix d'orienter le suivi sur une culture sur laquelle les problèmes sanitaires lui posent problèmes, c'est donc une culture de melon qui a été suivie en 2017 et 2018 dans deux abris différents.

C'est l'outil Nitrachek® qui a été utilisé dans ce travail pour suivre les teneurs en nitrates des sols des maraîchers du groupe. Cet outil d'aide à la décision de terrain consiste à la mise en solution dans de l'eau distillée des nitrates présent dans un échantillon de terre de même masse, la mesure se faisant par réaction colorimétrique.

Cet échantillon-ci doit être représentatif de la parcelle considérée. On recommande généralement un minimum de 8 échantillons pour obtenir un résultat représentatif, permettant de lisser les différences entre prélèvements compte tenu de la répartition non homogène dans le sol des résidus de culture, amendements et engrais (Chambre d'agriculture du Finistère, 2011 ; Pérennec et Estorgues, 2014).

Dans notre cas, nous sommes en condition de production, l'impact négatif que peut avoir les prélèvements (légumes racines et racines abîmées, terre du prélèvement qui tombe sur les plants) doit être réduit au maximum.

Pour ces raisons, nous avons choisi de réaliser 4 prélèvements sur chaque planche suivie au lieu des 8 préconisés dans la littérature. Ce compromis tient compte des contraintes de prélèvement y compris celle du temps consacré à l'opération.

Les prélèvements ont été réalisés à la tarière, sur une profondeur de 30 cm, sur 4 zones de la parcelle, le mélange de ces différents prélèvements correspond à l'échantillon qui sera analysé.

Une minéralisation de l'azote post prélèvement, peut se produire en cas d'exposition prolongée des échantillons à de fortes températures, faussant ainsi les résultats.

Pour éviter ce phénomène, les prélèvements ont été réalisés le matin et placés dans une glacière lorsque les températures étaient importantes.

La méthodologie suivie pour la réalisation des tests est disponible en annexe 6. La lecture a été réalisée à l'aide du réflectomètre Nitrachek® pour plus de précision et de fiabilité. Le résultat est donné en ppm ou mg/litre de nitrate. Un coefficient correcteur est ensuite appliqué à la moyenne des valeurs en fonction de l'humidité du sol. (Voir annexe 7) Le résultat obtenu est exprimé en unités (ou kg) d'azote nitrique par ha.

La fiabilité de l'outil n'est pas en remettre en cause. Selon une étude menée par la station Caté dans le Finistère qui a réalisé des comparaisons avec des analyses réalisées en laboratoire ; les résultats issus de l'outil peuvent être considéré comme aussi fiables que ceux issus du laboratoires (Perennec et Estorgues, 2014).

Les prélèvements de 2017 et 2018 sont réalisés sur une période allant de mars à octobre pour correspondre au cycle de la majorité des cultures longues cultivées par les maraîchers.

La fréquence de prélèvement étant d'un échantillon par planche toutes les 3 semaines.

7 prélèvements sur chaque planche suivie ont été réalisés toutes les 3 semaines durant ma période de stage, représentés par les flèches sur la figure 5 ci-dessous.

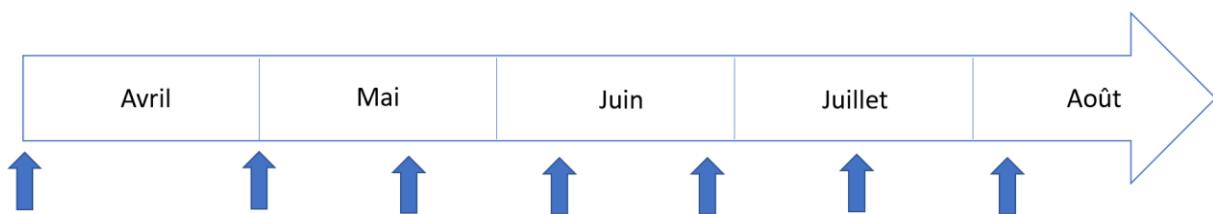


Figure 5 : Schéma de représentation temporelle des prélèvements réalisés sur la période de stage

#### D. Analyse des courbes de minéralisation

A partir des tests Nitrachek® effectués, des courbes d'évolution des taux de nitrate des sols maraîchers ont été réalisées. Chaque courbe a été mise en parallèle avec l'itinéraire cultural de la culture (en particulier les pratiques de fertilisation, travaux de sol et dates de culture susceptibles d'expliquer les taux observés). Concernant les travaux de sol, plusieurs flèches partant du même point correspondent à différents passages d'un même outil, l'ordre des flèches sur la forme représentée correspond à l'ordre des outils présent dans le texte de la forme.

La température du sol est le facteur majeur impactant les populations microbiennes du sol, notamment responsables de la minéralisation. Cette mesure n'ayant pas été réalisée, nous avons choisi de représenter en parallèle des taux de nitrates, une mesure dont nous disposons la plus corrélée possible à la température des sols étudiés. Pour les systèmes de PC, le choix a été fait de représenter la température de l'air en plus des taux de nitrates. De la même manière, c'est le rayonnement global en  $J/cm^2$  qui a été retenu pour coller au plus près de la température du sol sous abris.

Les mobilisations azotées des légumes sur l'ensemble de leur cycle, utilisées dans l'analyse proviennent majoritairement de données récoltées par le réseau FRAB, les données sont présentes au sein d'un logiciel du réseau : Orgaleg (Annexe 3).

Des courbes représentant les besoins du légume en question en  $kgN/ha$  et ont été réalisées à partir des besoins azotés des culture par semaine ou par mois (SERAIL, 1998). Ces références ont été adaptées aux cycles des légumes rencontrés chez les producteurs en cas de différence entre temps de cycle théorique et réel et aux mobilisations azotée totale sur le cycle, si des différences existaient entre les deux références.

Les données météorologiques utilisées sont issues de la station climatique Rennes Saint-Jacques, faute de station plus proche fournissant les données recherchées. C'est le cas

également des données pluviométriques utilisées dans le corps de texte sous chaque courbe. Ces données ont été obtenues via la publithèque de Météo France. (METEO-FRANCE). Chaque valeur météorologique associée aux prélèvements présentes sur les courbes correspondant respectivement soit à la moyenne des températures des 5 derniers jours précédent le prélèvement pour les systèmes de PC<sup>1</sup>, soit à la moyenne du rayonnement global des 5 derniers jours précédent le prélèvement pour les systèmes SA. La durée de nitrification de l'ammonium en nitrate prend une semaine à 20°C (COMIFER, 2013), il a été choisi d'utiliser les 5 jours précédents les prélèvements car nous les considérons comme les plus impactant sur ce processus biologique et donc les plus à même d'expliquer les taux d'azote nitrique observés dans les sols.

Une estimation de tous les facteurs d'entrée et sortie et d'azote nitrique nécessiterait des données non disponibles dans notre étude et conduiraient à des approximations trop importantes. Pour chaque courbe, il a donc été choisi de se limiter à trois postes de gain/perte de nitrate pour alimenter la réflexion de la minéralisation de l'azote.

Les trois postes précisés dans l'analyse sont la mobilisation azotée de la culture, l'effet direct de l'amendement ou engrais organique (Xa) et la minéralisation des résidus de culture intermédiaire<sup>2</sup> (MrCi). On considère Xa et MrCi comme la quantité d'azote minéralisée issue de la MO apportée (amendements, engrais ou CI) sur une durée correspondant à la saison de réalisation des test nitrates, soit 5 à 7 mois.

#### **Xa = %Npro x Q x KeqN**

% Npro = teneur en azote total du produit (% par unité de masse pour les engrais et amendements commerciaux ou kgN par tonne pour les effluents d'élevage et composts associés) (COMIFER, 2013 ou annexe 7)

Q = masse de produit épandue par hectare

KeqN = part d'azote minéralisé au cours de la saison de réalisation des test nitrates

Des valeurs de KeqN représentants le rapport obtenu entre la quantité d'azote apporté par un engrais minéral de synthèse de type ammonitrat et la quantité d'azote total apporté par le produit organique qui permet la même absorption d'azote par la culture sont disponibles en grandes cultures pour les amendements organiques les plus courants.

Ces valeurs seront utilisées ici faute de références plus adaptées. (COMIFER, 2013)

---

<sup>1</sup> PC : Plein champ

<sup>2</sup> CI : Culture Intermédiaire

Ce sont ces KeqN sur la période du cycle présents dans la grille COMIFER pour une culture de printemps (type maïs) qui ont été utilisés (le cycle du maïs correspondant à une durée de 5 à 7 mois, soit la même durée que la saison de réalisation des test nitrates).

Dans le cas où le produit utilisé n'était pas présent dans les références COMIFER, les valeurs KeqN ont été estimées à partir de la minéralisation de l'azote de produits issus de la base de données Azopro ayant les caractéristiques les plus proches des produits utilisés. Cette plateforme présentant des références techniques sur la composition et le comportement de 43 produits organiques de types amendement et engrais organiques. (CTIFL, 2018).

$$\text{MrCi} = \%N_{EV} \times B \times \text{KeqN taux d'N*biomasse} * \% \text{ N minéralisé}$$

$\%N_{EV}$  = teneur en azote total de l'EV (% par unité de masse) (CTIFL, 2018)

B = biomasse produite par hectare (en tonnes)

KeqN = part d'azote minéralisé au cours du cycle de la culture (CTIFL, 2018)

Les valeurs  $\%N_{EV}$  sont issus de la base de données Azopro. Les KeqN utilisés sont basés sur les données de minéralisation de l'azote présentes pour chaque produit dans cette même base (CTIFL, 2018). La valeur de la minéralisation des résidus de culture intermédiaire (MrCi) fournie par le Comifer a aussi été utilisée dans le cas d'absence de données de la base Azopro pour l'espèce considérée. (COMIFER, 2013)

Les biomasses produites (B) proviennent de biomasses moyennes pour l'EV considéré provenant de données COMIFER. (COMIFER, 2013)

On retrouve chez chaque producteur, une parcelle étudiée en 2017 puis en 2018 sauf cas particuliers précisés par la suite dans l'analyse des courbes. L'objectif étant de suivre l'évolution de la même parcelle sur plusieurs années.

L'objectif du groupe étant aussi d'identifier des pistes d'évolution des pratiques de fertilisation pour chacun, l'anonymisation de l'étude n'est pas souhaitable. Les différentes courbes réalisées sont présentées en faisant apparaître le prénom du producteur ou de la productrice concernée. Dans le cas de présences de plusieurs maraîchers par exploitation, seulement un prénom a été utilisé par simplification.

A la suite des courbes de chaque producteur, des pistes d'optimisation des pratiques de fertilisation sont proposées en fonction des suivis réalisés et du système de culture. Au sein des figures représentant des rotations des SDC de chaque producteur, une culture liée par une droite à deux autres correspond à un précédent identique devenant deux cultures différentes sur la même parcelle en année n+1 (année n : culture X, année n+1 : culture Y +

Z). Les pourcentages indiqués correspondant à la part de surface de la culture X en année n consacrée respectivement à la culture Y et à la culture Z en année n+1. (figure 13 et 18)

### **E. Analyse des pressions des bioagresseurs observées**

A l'issu du bilan de campagne évoqué dans la partie III.A, les producteurs ont notamment classé les bioagresseurs rencontrés sur les cultures de leur SDC étudié selon trois classes de pression (faible, moyenne et forte) pour l'année 2017.

En 2018, le bilan de campagne n'a pas encore été effectué. Les informations disponibles proviennent des observations et recueils récupérés au fil de mes passages chez les producteurs durant la saison.

Etant donné de la quantité importante d'information disponible, il a été choisi de se concentrer sur une partie des pressions observées en se basant sur le tableau synthétique établissant les liens entre fertilisation azotée (dont la forme d'azote utilisée) et sensibilité aux bioagresseurs pour quelques cultures légumières (annexe 4).

Il a donc été choisi de représenter au sein d'un tableau récapitulatif, les pressions de maladies et ravageurs observées en 2017 et 2018 pour lesquels un lien entre fertilisation et pression a été identifié dans la littérature. Les pratiques de fertilisation et les teneurs en azote nitrique des sols quand ceux-ci sont disponibles sont également présents.

A partir de ce tableau, on tentera de commenter le rôle qu'a pu avoir la fertilisation réalisée sur l'observation des pressions différentes identifiées pour un même bioagresseur.

Concernant les adventices, les informations récoltées sont beaucoup moins importantes que celles concernant les maladies et ravageurs, il a donc été choisi ici de ne pas les analyser.

### **F. Essai fertilisation sur culture de chou rouge et chou de milan**

Un essai de fertilisation azotée, comparant l'impact de deux types de fumiers à deux doses différentes sur une culture de chou de milan et chou rouge a été mis en place sur le site d'un salon technique pour professionnels « La terre est notre métier » consacré à l'agriculture biologique. L'édition 2018 de ce salon aura lieu le 26 et 27 septembre à RETIERS en Ille et Vilaine.

Cet essai, se trouvant sur le site du salon qui est aussi un espace de démonstration, doit aussi s'insérer autant que possible dans cette optique. C'est la principale raison qui a motivé le choix de planter deux types de choux sur l'essai, un chou rouge et un chou de milan, en plus de pouvoir mesurer les effets des différentes modalités de fertilisation sur les deux types de chou.

L'objectif de cet essai est d'étudier la fertilisation du chou de milan et du chou rouge en culture de PC en testant deux doses de deux amendements bovins différents, majoritairement utilisés par les maraîchers d'Ille et Vilaine.

#### Conditions de culture :

- Sol : Limono-argileux
- Culture : Chou de milan variété Famosa (Bejo), chou rouge variété Intégro (Bejo)
- Précédent : prairie de trèfle 2 ans, implantée en octobre 2016
- Dispositif et densité :
  - Travail à plat sur des parcelles élémentaires de 1,4 m de large, plantés sur trois rangs.
  - Plants en motte de 4 cm.
  - Distance entre rangs : 0,35 cm, Distance entre plants sur le rang : 0,60 cmDensité : 3,3 choux/m<sup>2</sup>
- Itinéraire technique (figure 6) :

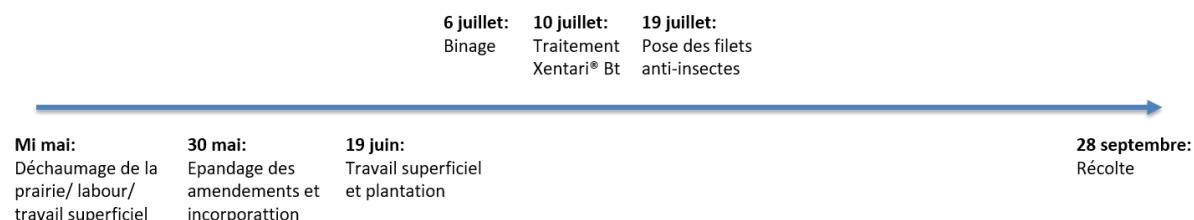


Figure 6 : Itinéraire technique de l'essai

#### Dispositif :

Le type de plan choisi est un dispositif en blocs aléatoires complets pour tenir compte d'une source d'hétérogénéité qui est une légère pente. Il s'agit d'un dispositif à 1 facteur étudié (stratégie de fertilisation) comptant 5 modalités répétées 3 fois (figure 8).

Une parcelle élémentaire mesure 1,4 m de large (3 rangs) sur 8 m de long, soit 11,2 m<sup>2</sup>.

#### Modalités :

Deux types d'amendements sont à l'essai : un fumier de bovin laitier frais et un fumier de bovin laitier composté 4 mois (figure 7).

Modalité	TEM	15-Frais	30-Frais	15-Comp	30-Comp
Fumier bovin frais (t/ha)	0	15	30	0	0
Fumier bovin composté 4 mois (t/ha)	0	0	0	15	30

Figure 7 : Modalités de l'essai

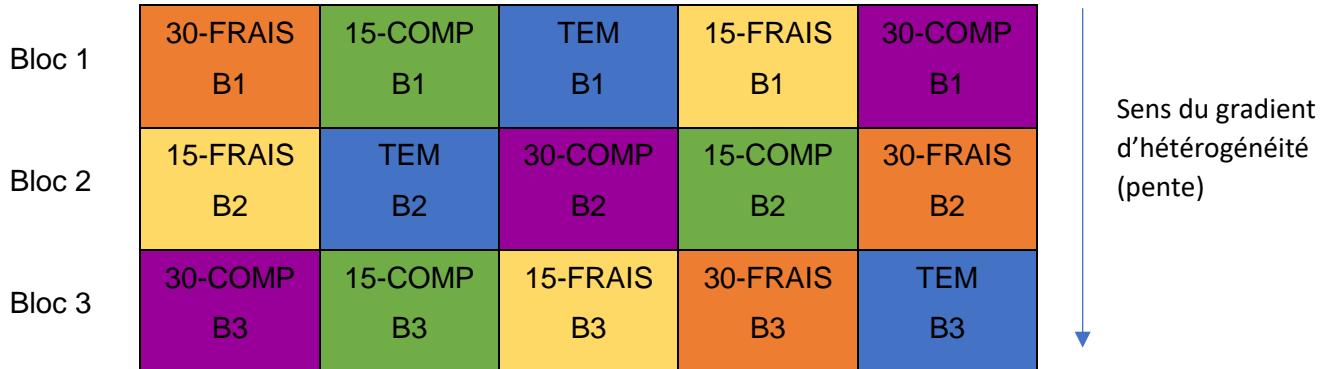


Figure 8 : Plan de l'essai

Le suivi et les notations se focalisent sur :

- La teneur en nitrate du sol :

Des test Nitrachek® sont réalisé sur chaque parcelle élémentaire tous les 15 jours. Chaque échantillon de chaque parcelle élémentaire est issu d'un mélange de 8 prélèvements réalisés à la gouge sur les 25 premiers centimètres du sol dont 4 prélèvements sont réalisés sur le rang entre deux choux rouges et 4 prélèvements sont réalisés de la même manière entre deux choux verts. La représentation de la courbe suit la même méthode que décrite précédemment (III.D.)

- L'impact des maladies et ravageurs :

Une notation simple des dégâts sur feuilles suite à une attaque de piéride a été effectuée le 06 juillet 2018. Elle a consisté à classer respectivement tous les choux rouges et choux de milan de chaque parcelle élémentaire en trois classes selon les dégâts sur feuilles constatés :

Faible : moins de 20% de la surface des feuilles défoliées

Moyen : entre 20 et 40% de la surface des feuilles défoliées

Fort : Plus de 40% de la surface des feuilles défoliées

- Le rendement : Un rendement brut sur 12 choux de milan et 12 choux rouges sur chaque parcelle élémentaire sera réalisé à la récolte autour du 27 septembre.

Les données issues des notations ont été analysées statistiquement à l'aide du logiciel Statbox. Ces analyses ont consisté à des analyses de variance réalisées individuellement sur chaque variable à expliquer. Ces variables sont d'une part les taux de nitrates obtenus à l'issu

des 6 prélèvements réalisés sur la culture et d'autre part les rapports de représentation des choux dans chaque classe de la notation de dégâts de feuille.

Le risque de première espèce  $\alpha$  a été fixé à 5%.

Dans le cas où le test F de l'ANOVA a été inférieur à  $\alpha$ , il a été réalisé le test de Bonferroni de comparaison des moyennes au seuil de 5%.

## IV. Résultats et interprétations

### A. Analyse des courbes de minéralisation de l'azote

Nous ne présenterons dans ce chapitre que les courbes et explications relatives à deux producteurs. Le travail a cependant été effectué pour tous les suivis nitrates réalisés et est disponible en annexe 9.

#### Producteur 1 : Erwann (SDC PC)

2017

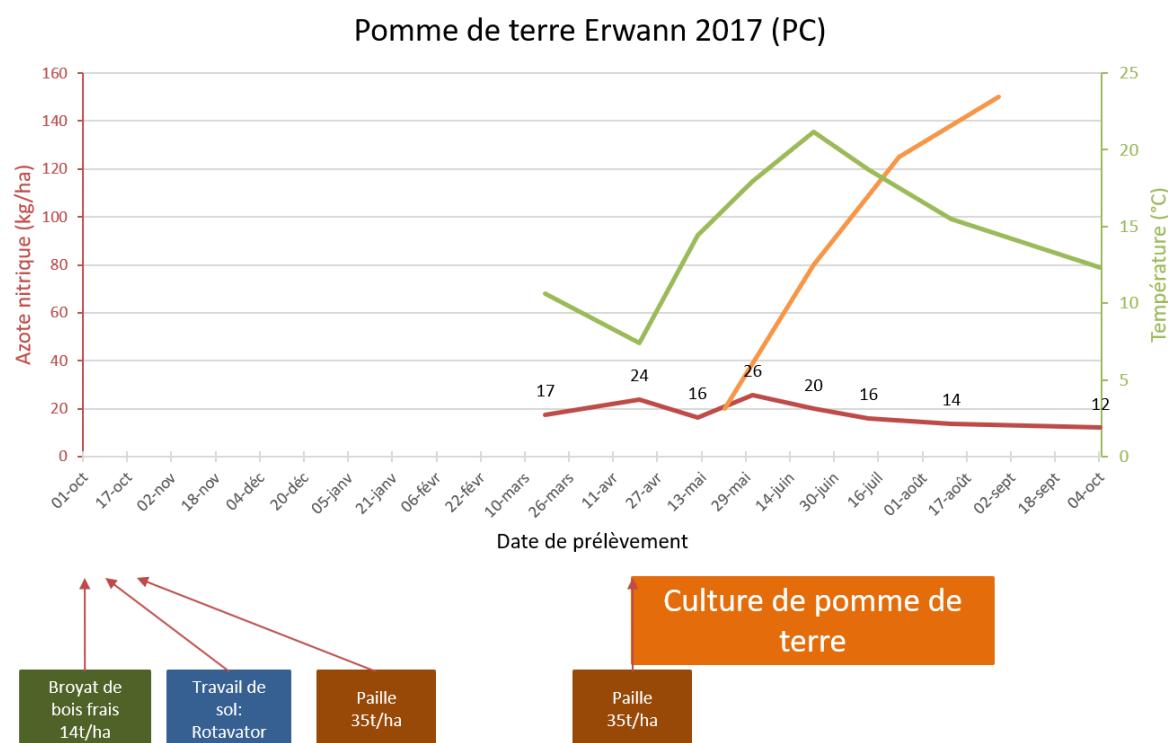


Figure 9 : Teneur en nitrates sur les 30 1<sup>er</sup> cm de sol (en rouge), température (en vert), mobilisation azotée théorique de la culture en kg N/ha (en orange) et itinéraire technique

Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Pomme de terre 150 kgN/ha (Annexe 3)

Rendement réalisé : 5t/ha

Le maraîcher expérimente des itinéraires techniques ayant pour objectifs de limiter le travail de sol et le désherbage et de favoriser la vie des sols. Cette parcelle suivie fait partie de ces itinéraires en expérimentation. Un broyat de bois frais a été incorporé superficiellement début octobre 2016 suivi d'un paillage pour éviter l'enherbement. A la plantation des pommes de terre le 20 avril 2017, un nouveau paillage a été apporté par-dessus.

On observe des taux de nitrates du sol très faibles sur toute la saison de prélèvement fluctuant entre 12 et 26 unités d'azote nitrique par hectare (figure 9). Une tendance de diminution des taux peut être dégagée après le 31 mai.

On peut expliquer ces résultats en grande partie par l'importance en termes de volume, des apports de MO à C/N élevé et longs à dégrader (riches notamment en lignine) qui se traduisent par une faim d'azote importante (C/N de résidus de bois entre 50 et 200, C/N de la paille d'environ entre 90 et 120) (Aboulam, 2005). D'après la courbe observée, on peut supposer que la culture qui a beaucoup de mal à trouver assez d'azote pour couvrir ses besoins importants de 150 kg N/ha sur l'ensemble de son cycle. Les conséquences sont un rendement très peu satisfaisant de 5t/ha fin août. Les rendements moyens en bio sont généralement plus proches de 30t/ha (Chambre d'agriculture Rhône-Alpes, 2013).

2018

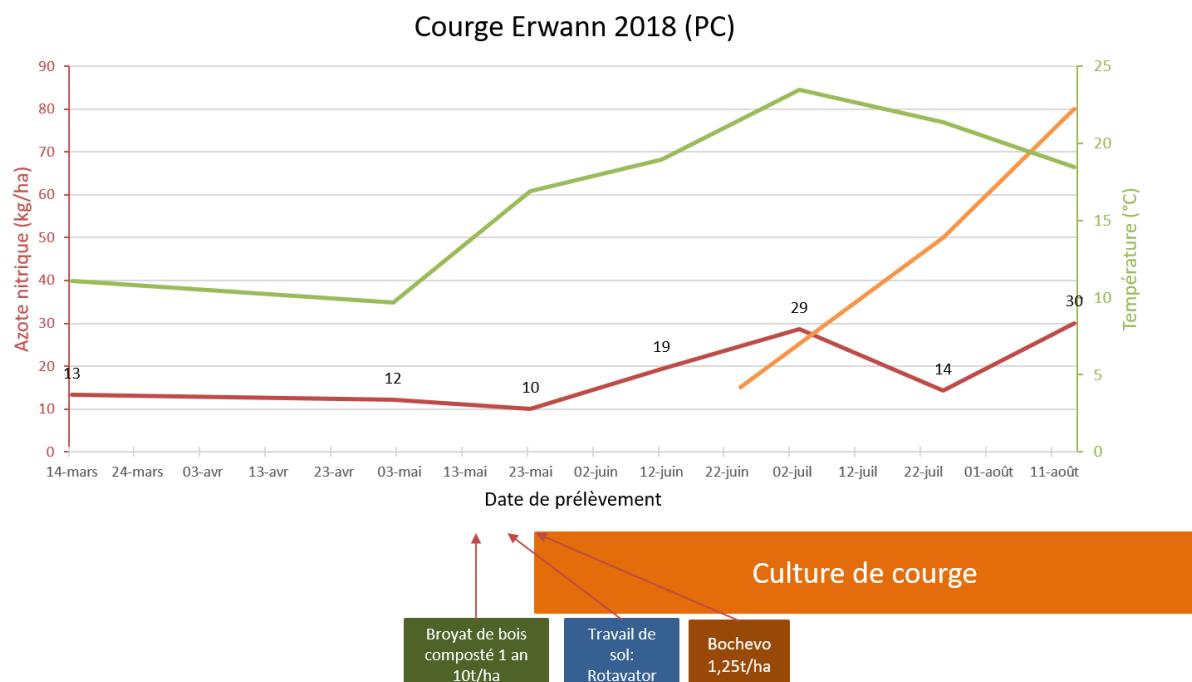


Figure 10 : Teneur en nitrates sur les 30 1<sup>er</sup> cm de sol (en rouge), température (en vert), mobilisation azotée théorique de la culture en kg N/ha (en orange) et itinéraire technique

Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Courge 100 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'engrais organique :  $Xa=3\%*1250*0,5 = 18,8 \text{ kgN/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

On observe des taux d'azote nitrique/ha qui restent faibles en début de saison de prélèvement (10 kg N/ha) et qui augmentent seulement et de manière assez limitée qu'à partir du 12 juin, jusqu'à environ 30 unités/ha début juillet (figure 10). Une diminution des taux jusqu'à 14 kg N/ha est observé fin juillet avant un retour à environ 30 unités en août.

La teneur très faible observé en sortie d'hiver s'inscrit dans la continuité des derniers taux observés en 2017 sur la parcelle cultivée en pomme de terre. Les 320 mm de pluie tombés entre novembre 2017 et mars 2018 représentant une perte potentielle de plus de 70% de nitrate de l'horizon 0-30cm par lixiviation (figure 3), l'importance des apports carbonés réalisés et la minéralisation faible pendant l'hiver expliquent ce résultat. Un nouvel apport de broyat d'un an est réalisé fin mai, cette fois encore incorporé superficiellement. La culture de courge est ensuite réalisée sur toile de paillage pour éviter l'enherbement. A la plantation, un apport d'une poignée de Bochevo® a été réalisé localement autour de chaque plant représentant un effet direct de 19 kg N/ha. Le travail de sol et l'augmentation des températures a stimulé la minéralisation de la MO du sol traduite par l'augmentation légère visible sur la courbe. On peut supposer que le Bochevo® joue ici un rôle important dans l'apport de MO minéralisé compte tenu de la disponibilité faible en azote minéral dans le sol par rapport au carbone. Cette augmentation a sans doute été freinée par l'organisation de l'azote due à la décomposition des matières organiques carbonées et des orages importants de début juin (94 mm tombés au mois de juin avant le prélèvement du 12 juin représentant une lixiviation potentielle d'environ 4% du nitrate sur l'horizon prélevé) (figure 3). La mobilisation de la culture a aussi jouée, d'ailleurs la diminution observée en fin de saison traduit ces besoins croissants de la courge (respectivement 20, 30 et 40 kg N/ha mobilisés le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> mois après plantation) (SERAIL, 1998). La aussi, la culture semble avoir souffert d'une forte limitation azotée qui lui sera potentiellement préjudiciable en termes de rendement.

2017

Cette courbe correspond à une autre parcelle du producteur, conduite de manière plus classique.

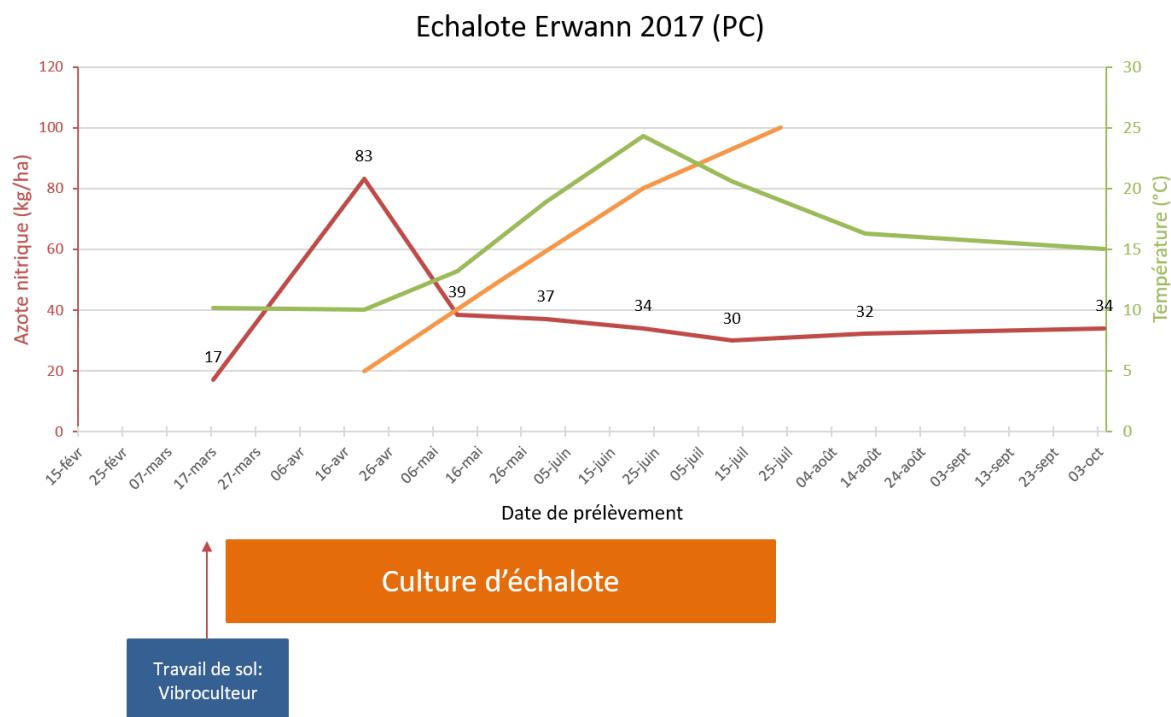


Figure 11 : Teneur en nitrates sur les 30 1er cm de sol (en rouge), température (en vert), mobilisation azotée théorique de la culture en kg N/ha (en orange) et itinéraire technique

Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Echalote 100 kgN/ha (Annexe 3)

Rendement échalote : 3,3 t/ha

On retrouve ici une évolution plus commune des taux d'azote nitrique du sol avec une phase d'augmentation entre les deux premiers prélèvements passant de 17 à 83 kg N par hectare (figure 11), les taux diminuent mi-mai et restent stables autour de 30/40 kg/ha par la suite.

Comme pour les autres courbes de PC, les taux d'azote nitrique faibles en sortie d'hiver s'expliquent par une lixiviation des nitrates due aux précipitations (290 mm de pluie tombés entre novembre 2016 et février 2017). Le travail de sol ayant participé à favoriser la minéralisation explique l'augmentation initiale des taux observée.

La chute de 40 kg N/ha observée le 11 mai peut être expliquée en partie par les épisodes orageux survenus juste avant le prélèvement. La tendance à la diminution observée par la suite correspond à une mobilisation de la culture supérieure à la minéralisation dans le sol. Même si les taux sont plus hauts que ceux observés sur la parcelle en expérimentation vu précédemment, les taux restent faibles (<40 kg N/ha) sur une grande deuxième moitié du cycle

de la culture. Les échalotes ont ainsi sûrement été limitées dans leur développement par l'élément azote.

2018

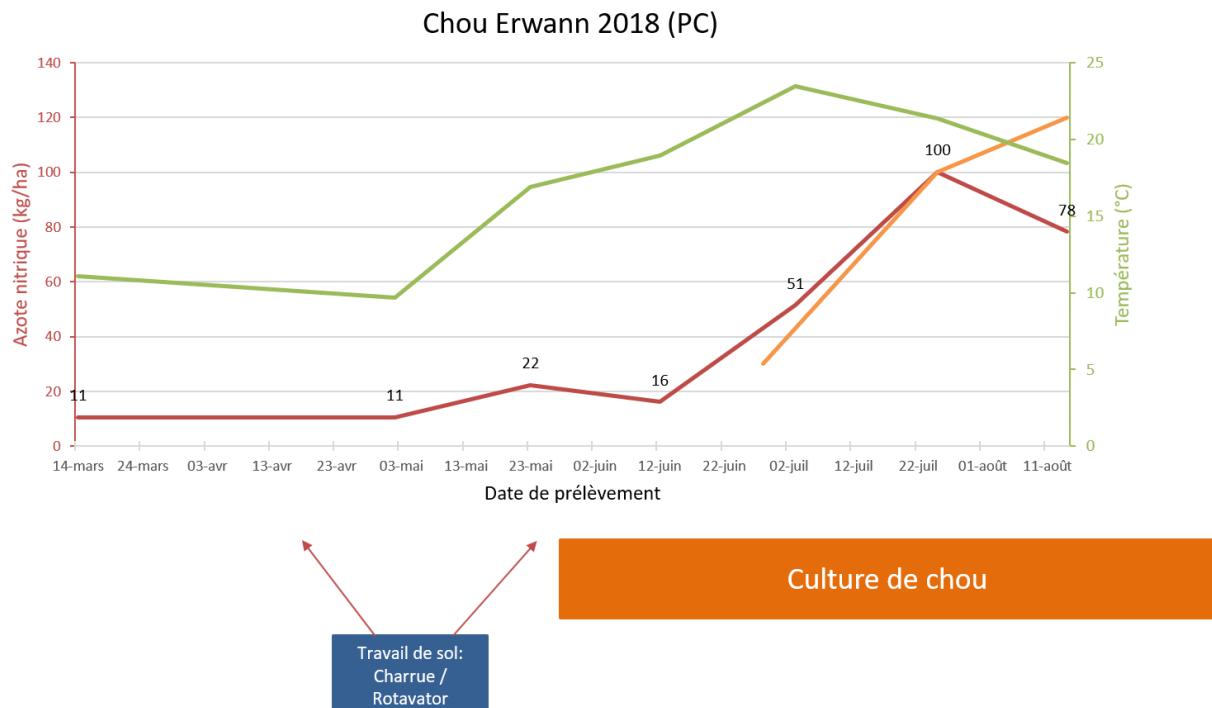


Figure 12 : Teneur en nitrates sur les 30 1<sup>er</sup> cm de sol (en rouge), température (en vert), mobilisation azotée théorique de la culture en kg N/ha (en orange) et itinéraire technique

Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Chou pommé 150 kgN/ha (SERAIL, 1998)

Les teneurs en azote du sol restent stables de mars à début mai autour de 10 kg/ha d'azote nitrique, la courbe traduit une légère augmentation constatée le 23 mai suivie d'une faible diminution début juin (figure 12). L'augmentation des taux sera réellement effective en juillet et affichera 100 kg N/ha fin juillet, le dernier prélèvement traduit une diminution des taux jusqu'à un peu moins de 80 kg N/ha.

On obtient des taux de nitrate similaires à ceux observés sur courge en itinéraire expérimental en début de saison. Aucun apport n'a été réalisé avant la culture. Comme vu au niveau des autres courbes de PC, les précipitations hivernales importantes ont pu être responsable de pertes allant jusqu'à 70% de l'horizon prélevé, cette fois renforcé par le fait que le sol est resté nu. Cependant, les faibles taux observés fin 2017 montraient déjà des taux d'azote nitrique faibles. Le labour ainsi que l'accroissement de la température permettent de stimuler la minéralisation expliquant la légère augmentation de mai dont la tendance sera inversée par les épisodes orageux ayant eu lieu avant le prélèvement du 12 juin (94 mm de pluie depuis le début du mois). La reprise de l'augmentation de juin-juillet est expliquée par le travail de sol

fin au rotavator toujours en lien avec l'accroissement des températures. Dans ce cas, la minéralisation permet de retrouver assez rapidement des taux plus favorables en termes de disponibilités azotées de la culture.

La diminution constatée en août correspond à un accroissement de la mobilisation azotée de la culture, devenant maximale le troisième mois après plantation : 50 kg N/ha par mois le deuxième mois, puis 60 et 50 les mois suivants (SERAIL, 1998). La mobilisation de la culture apparaît ainsi supérieure à l'apport d'azote réalisé par la minéralisation de la MO à cette période. Globalement, cette culture de chou devrait réussir à achever son cycle sans trop souffrir de limitations azotées.

Si on compare cette courbe à la courbe réalisée sur culture de courge 2018, on observe que les deux courbes suivent globalement la même dynamique. **Les taux augmentent à partir du moment où les sols sont travaillés, les mobilisations des cultures étant responsables des diminutions observées.** Les taux plus importants observés en culture de chou semblent essentiellement dus à l'absence d'apport massif carboné, confirmant la responsabilité de ces apports dans les taux d'azote nitrique faibles observés sur l'itinéraire expérimental.

### Conseils de fertilisation

Le producteur apporte 3 t/ha de Bochevo® tous les 3 ans sur tout son parcellaire de PC, indifféremment de la culture en place. Des EV sont réalisés à la fréquence de 2 tous les 3 ans (seigle/féverole) (figure 13). Le pH de son sol (7,2) n'indique pas de nécessité de chaulage.

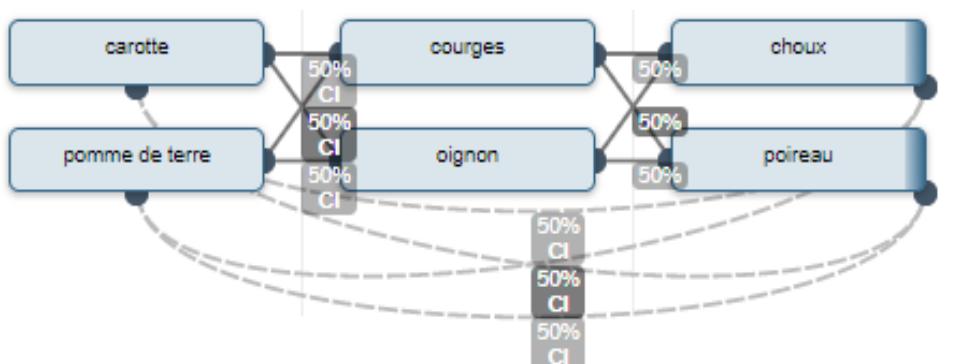


Figure 13 : Rotation simplifiée du SDC d'Erwann

L'apport d'un engrais organique tous les 3 ans ne semblent pas suffisants en termes de fertilisation azotée au vu des courbes analysées. Nous conseillons plutôt l'utilisation d'un apport d'amendement animal qui permettra à la fois de participer à l'entretien du taux de MO du sol et d'apporter davantage d'azote aux cultures. Les apports pourront être faits sur pomme

de terre, choux et poireau qui sont des cultures exigeantes qui valoriseront bien ce type d'apport.

### Producteur 2 : Michael (SDC SA)

2017



Figure 14 : Teneur en nitrates sur les 30 1er cm de sol (en rouge), température (en vert), mobilisation azotée théorique de la culture en kg N/ha (en orange) et itinéraire technique

Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 300 kg/ha (Annexe 3)

Rendement : 65 t/ha

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 6,3 \times 20 \times 0,2 = 25,2$  kgN/ha (COMIFER, 2013)

La courbe des taux d'azote nitrique visible sur la figure 14 a globalement une allure de cloche. On commence les prélèvements donnant environ 30 kg N/ha. Une augmentation des taux est visible à partir du 31 mai et atteint un pic de 53 kg N/ha mi-juillet. La teneur en azote des sols diminue ensuite jusqu'au dernier prélèvement réalisé début octobre donnant 21 kg/ha.

Les besoins azotés de la tomate s'expriment surtout à partir du deuxième mois après la plantation (plus de 50 unités d'azote prélevées par mois le 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> mois de culture. (SERAIL, 1998). La dynamique est différente de la courbe de Thierry en culture de tomate en 2017 (voir annexe 9) où la diminution des taux commence dès le deuxième mois après plantation. Ici, la culture dispose de ressources assez limitées en azote dès le départ, l'élément a potentiellement pu être limitant pour le développement de la culture sur l'ensemble de son cycle, d'autant plus quand on considère les besoins importants de la culture.

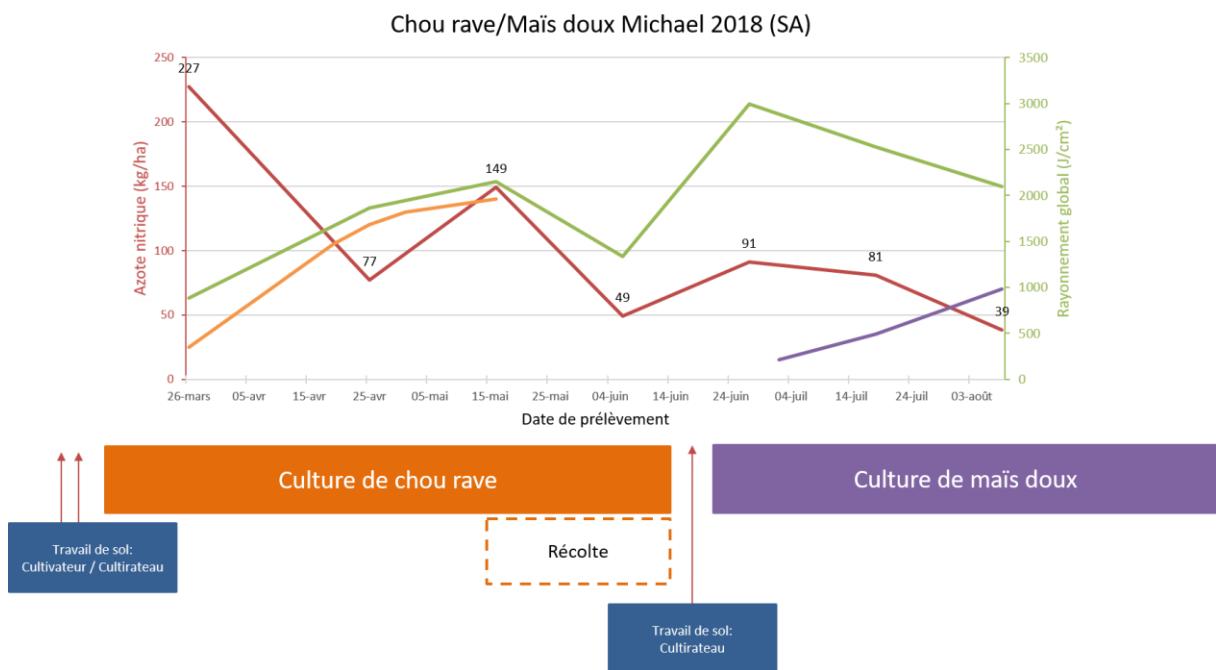


Figure 15 : Teneur en nitrates sur les 30 1<sup>er</sup> cm de sol (en rouge), température (en vert), mobilisation azotée théorique des cultures en kg N/ha (en orange et violet) et itinéraire technique

Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Chou rave 140 kg N/ha (SERAIL, 1998)  
Maïs doux 120 kg N/ha (Annexe 3)

Cette culture de chou rave s'inscrit sur la parcelle suivie cultivée en tomate en 2017. Aucune fertilisation n'a été apportée avant la culture de ces choux, le 26 mars, le prélèvement donne une valeur de 230 unités d'azote nitrique par ha, soit une augmentation de plus de 200 unités par rapport aux derniers prélèvements de 2017 (figure 15).

Les teneurs en nitrates du sol partent ensuite à la baisse pour atteindre 77 kg N/ha fin avril, puis réaugmentent mi-mai à 150 kg/ha. Ceux-ci diminuent ensuite à l'issu le prélèvement suivant avant de se stabiliser autour de 80/90 kg/ha. Les taux diminuent ensuite à l'issu du dernier prélèvement pour atteindre 40 kg N/ha.

La diminution des taux observée correspond à une mobilisation de la culture de chou rave, la première correspond bien aux besoins théoriques représentés. Cependant, l'augmentation observée puis la diminution constatée début juin ne trouvent pas d'explication à partir des informations disponibles. Un travail de sol et des besoins limités de la culture de maïs expliquent la tendance à la hausse observée par la suite. Lorsque les besoins de la culture s'intensifient, les teneurs en azote nitrique du sol diminuent affichant une teneur faible sur le dernier prélèvement. En considérant ce taux, il semble que le maïs puisse être limité de façon assez importante par la disponibilité de l'azote.

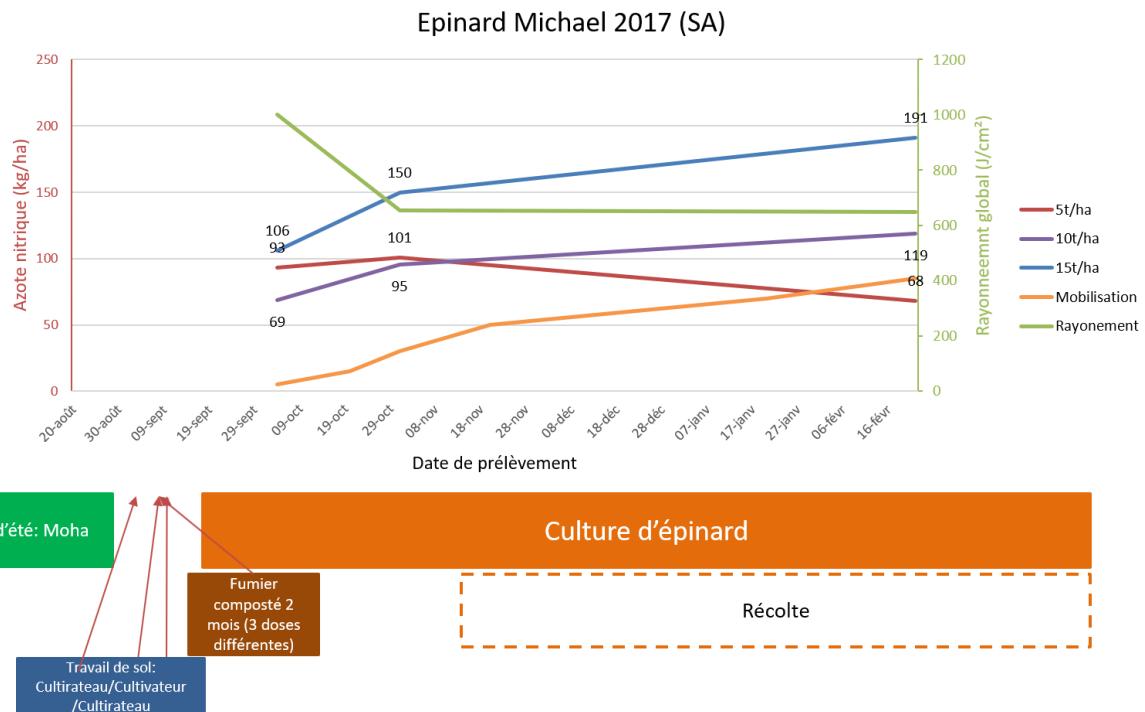


Figure 16 : Teneur en nitrates sur les 30 1<sup>er</sup> cm de sol (en rouge), température (en vert), mobilisation azotée théorique de la culture en kg N/ha (en orange) et itinéraire technique

Un essai a été réalisé en 2017 par le producteur dans un autre tunnel. Il a consisté à tester 3 modalités de fertilisation différentes sur une culture d'épinard (5t/ha, 10t/ha, 15t/ha de fumier composté 2 mois) (figure 16).

Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 100 kg/ha (Annexe 3)

Rendement selon les modalités :

5t/ha : 11,4 t/ha

10t/ha : 13,4 t/ha

15t/ha : 9,8 t/ha

Effet direct de l'amendement organique :  $Xa_{5t/ha} = 6,3 * 5 * 0,2 = 6,3 \text{ kg N/ha}$

$Xa_{10t/ha} = 6,3 * 10 * 0,2 = 12,6 \text{ kg N/ha}$

$Xa_{15t/ha} = 6,3 * 15 * 0,2 = 18,9 \text{ kg N/ha}$  (COMIFER, 2013)

Minéralisation nette de résidus de CI

Si on considère un rendement de 3t/ha de MS, on a :  $MrCi = 1,9\% * 3000 * 30\% = 17,1 \text{ kg N/ha}$  (CTIFL, 2018)

Pour les deux premiers prélèvements, la modalité 5t/ha affiche des valeurs supérieures à la modalité 10t/ha. La courbe correspondant à la modalité 5t/ha affiche une augmentation moindre que les deux autres modalités entre les deux premiers prélèvements. Entre les deux

derniers prélèvement les taux continuent d'augmenter pour les 2 modalités les plus fertilisés tandis qu'ils diminuent pour la modalité la moins fertilisée.

Un EV d'été a précédé la culture (Moha). Il a été broyé puis incorporé superficiellement. La fertilisation a été apportée 8 jours après, au moment de la deuxième opération de travail de sol. L'augmentation des taux observée pour les trois courbes est proportionnelle à l'apport réalisé, plus l'apport a été important plus l'a été la minéralisation.

On peut expliquer la diminution observée sur la modalité 5t/ha comme une minéralisation de la MO du sol qui n'a pas été suffisante pour compenser la mobilisation de la culture, à la différence des modalités 10t/ha et 15t/ha où cette minéralisation est restée supérieure à la mobilisation de l'épinard. Les deux planches (5t/ha et 10t/ha) étudiées n'étaient peut-être pas homogènes en termes de fertilité azotée avant que l'apport de fumier ai été fait puisque les premiers prélèvements ne reflètent pas les doses apportées.

En conclusion, les courbes observées reflètent assez bien les apports réalisés puisque les taux observés sur le troisième prélèvement respectent la logique des apports.

Au niveau du rendement, la modalité 5t/ha obtient de moins bons résultats que la modalité 10t/ha. Cependant, un taux de 68 unités n'est pas vraiment faible, la culture n'a sans doute pas été limitée de façon importante par cet élément, ceci peut expliquer la faible différence de rendement observée.

Les rendements les plus faibles sont obtenus sur la modalité la plus fertilisée. Cependant, ce rendement plus faible s'explique avant tout par des problèmes sanitaires. (voir partie IV.B)

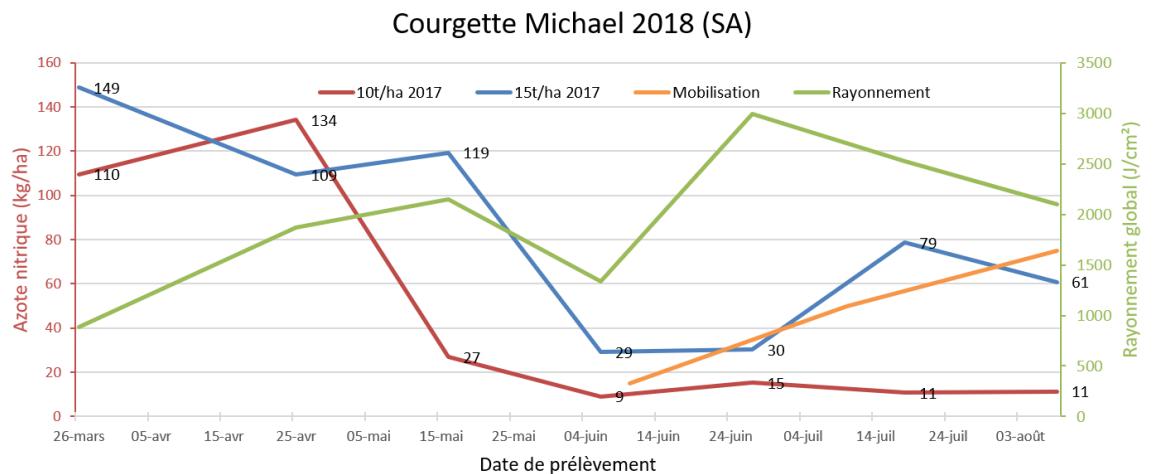


Figure 17 : Teneur en nitrates sur les 30 1<sup>er</sup> cm de sol (en rouge), température (en vert), mobilisation azotée théorique de la culture en kg N/ha (en orange) et itinéraire technique

À la suite de l'essai épinard réalisé en 2017, le suivi de deux planches de courgette a pu être réalisé en 2018 (figure 17). L'une correspondant à la modalité fertilisée avec 15t/ha de fumier composté sur épinard, l'autre à la modalité 10t/ha. Cette année, la fertilisation apportée a été la même sur les deux modalités, soit 10t/ha de fumier composté 1 mois, apportés le 05 avril.

Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 100 kg/ha (Annexe 3)

Rendement : 112 t/ha sur les 2 planches (Le rendement n'a pas été décomposé à la modalité)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 6,3 \times 10 \times 0,2 = 13$  kg N/ha (COMIFER, 2013)

Par rapport aux derniers points observés sur épinard, on a respectivement perdu environ 40 kg N/ha sur la modalité 15t/ha et 10 kg/ha sur la modalité 10t/ha en 1 mois. Ensuite, le prélèvement du 25 avril donne un taux de nitrate plus important pour la modalité 10t/ha. On observe ensuite dans les deux cas une chute des taux de nitrate mais décalés dans le temps suivant les modalités, la chute est plus précoce pour la modalité 10t/ha et tombe plus bas. On observe 27 kgN/ha mi-mai puis les taux se stabilisent par la suite entre 9 et 15 unités. Pour la modalité 15t/ha les taux chutent à partir de début-juin jusqu'à 30 unités mais vont réaugmenter jusqu'à 80 kg/ha en juillet à la différence de la modalité 10t/ha.

Les mesures suivant le 25 avril respectent la logique des apports puisqu'elles sont toutes plus faibles pour la modalité 10t/ha que pour la modalité 15t/ha. Les diminutions des teneurs en

nitrates observées s'expliquent par la mobilisation de la culture. Les besoins devenant maximum à partir de la 4<sup>ème</sup> semaine après plantation où ils représentent environ 20 kg N/ha d'azote par semaine (SERAIL, 1998). Les résultats des chutes différenciées des deux modalités peuvent s'expliquer par deux raisonnements complémentaires :

D'abord le prélèvement de la modalité 10t/ha du 16 mai a été réalisé dans des conditions de sol très humide, l'arrosage au goutte à goutte venait d'être fait et avait laissé le sol trempé. Une humidité excessive du sol conduit à l'obtention d'une valeur faible due à une lixiviation potentielle et à la méthode en tant que telle.

Ensuite, la chute a pu être plus précoce puisque moins de MO étaient disponibles pour minéralisation. La minéralisation étant moindre pour la modalité 10t/ha, les besoins de la culture ont entraîné une chute plus précoce et plus basse du taux de nitrate pour cette modalité. Pour la modalité 10t, les taux proches de 10 kg N/ha sont observés à partir du 06 juin. Pour les deux modalités, la quantité d'azote disponible a pu être limitante. Pour la modalité 15t/ha, cela a pu être le cas pour une partie mineure du cycle. Dans le cas de la modalité 10t/ha, des taux aussi faibles traduisent de manière assez certaine que la culture a souffert pendant une grande partie de son cycle de manque vis-à-vis de cet élément.

Au niveau du rendement, il n'a pas été fait de pesée séparée sur les deux planches. Cependant de manière qualitative, la personne en charge de la récolte a observé une différence de rendement au profit de la modalité la plus fertilisée. Cela confirme l'hypothèse que l'azote ait été plus limitant pour la modalité moins fertilisée.

### Conseils de fertilisation

Le producteur apporte entre 5 et 20t/ha de fumier composté entre 1 et 3 mois aux cultures les plus exigeantes tous les ans, un apport de broyat de coquillage grossier entre 2 et 4 t/ha est réalisé tous les 4 ans (figure 18).

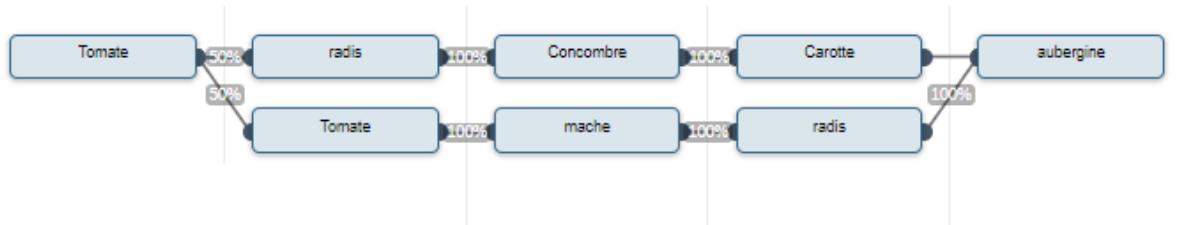


Figure 18 : Rotation simplifiée du SDC de Michael

Sur les cultures suivies, la tomate et le maïs doux semblent avoir manqué d'azote quand on considère les courbes. Les pratiques de fertilisations semblent globalement bonnes, une complémentation légère en engrains organique pouvait être intéressante avant le maïs. Un

travail sur la rotation semble être un levier intéressant notamment pour la tomate, plus qu'un apport supplémentaire de fertilisation. Une réflexion doit être engagée pour éviter cette succession de solanacées exigeantes dans la rotation. Concernant, l'essai mené sur courgette, il semble que la quantité d'amendement apportée sur le précédent épinard a été visible, allant dans le sens d'un meilleur rendement sur la modalité modérément fertilisée. Des rendements différenciés auraient permis de quantifier cette observation.

## **B. Analyse des pressions des bioagresseurs observées**

La figure 19 page suivante rend compte de la pression des maladies et ravageurs observés chez les maraîchers, mise en lien avec les pratiques de fertilisation et les moyennes des taux de nitrates des sols mesurés sur le cycle des cultures concernées. Il ne rend pas compte de l'ensemble des pressions observées par les 12 maraîchers sur les deux années pour des raisons de pertinence et de taille. Le choix a été fait de se focaliser sur les maladies et ravageurs observés pour lequel un lien entre fertilisation azotée et sensibilité des légumes a été identifié dans la bibliographie.

Concernant les ravageurs, on pourrait être tenté d'associer les pratiques de fertilisation azotée supérieure de Jean Charles à une pression de piérides parmi les plus importantes relevées. Cependant, il semble que l'absence de filet de protection chez ce producteur constitue de manière assez certaine, l'explication principale à cette sensibilité accrue de sa culture.

**Pour les acariens, une pression plus importante est observée chez Thierry qui pratique une fertilisation azotée supérieure à sa collègue Charlène.**

La pression de puceron semble similaire sur les deux années pour Alan, l'utilisation de lutte biologique pour réguler la population rend difficile l'identification d'un impact de la fertilisation. **Cependant les taux de nitrates élevés de son sol vont dans le sens d'une forte disponibilité de cet élément pour la plante. La fertilisation pourrait donc représenter un levier de travail pour participer à réduire cette pression.**

	Maraîchers concernés	Année	Culture	Echelle de pression	Méthode de lutte	Pratiques de fertilisation	Moyenne des taux de nitrates du sol sur le cycle la culture (kg N/ha)
<b>Ravageurs</b>							
<b>Piérides</b>	Thomas	2017	Chou	Faible	Filet anti-insecte	Fumier de bovin frais 20t/ha en 2014, EV de deux ans broyé en 2017	
	Erwann	2018	Chou	Faible	Filet anti-insecte	Bochevo® 3t/ha 2017	62
	Philippe	2017	Chou	Faible	Traitement Bt	Fumier de bovin composté 1 an 15t/ha + 1t/ha Profumus® en 2017	
	Erwann	2017	Chou	Moyenne	Filet anti-insecte	3t/ha Bochevo® 2017	
	Jean-Charles	2017	Chou	Moyenne		Fumier de bovin frais 35t/ha en 2014	
<b>Acarien</b>	Thierry	2017	Aubergine/concombre	Moyenne		Fumier de bovin composté 6 mois 30t/ha en 2016	
	Charlène	2017	Aubergine/concombre	Faible	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Compost Algo-Forestier® 35t/ha en 2017	
<b>Puceron</b>	Alan	2017	Melon	Moyenne	Larves de coccinelles, <i>Aphidius colemani</i> et <i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Fumier de bovin composté 6 mois 10t/ha en 2017	217
	Alan	2018	Melon	Moyenne	Larves de coccinelles, <i>Aphidius colemani</i> et <i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Fumier de bovin composté 6 mois 10t/ha en 2018	151

	Christophe	2017	Chou	Faible		Fumier de bovin composté 6 mois 4t/ha en 2017	
	Thomas	2017	Chou	Faible		Fumier de bovin frais 20t/ha en 2014, EV de deux ans broyé en 2017	
	Jean-Charles	2017	Chou	Moyenne		Fumier de bovin frais 35t/ha en 2014	
<b>Aleurodes</b>	Charlène	2017	Tomate	Moyenne	<i>Eretmocerus eremicus</i>	Compost Algo-Forestier® 35t/ha en 2017	
<b>Thrips</b>	Thomas	2017	Poireau	Moyenne	Filet anti-insecte	Fumier de bovin frais 20t/ha en 2014, EV de deux ans broyé en 2017	
<b>Doryphore</b>	Arnaud	2017	Pomme de terre	Forte	Ramassage manuel	Bacteriosol UAB® 250 kg/ha	
	Christophe	2017	Pomme de terre	Forte	Ramassage manuel	Fumier de bovin composté 6 mois 18t/ha en 2017	37
<b>Maladies</b>							
<b>Mildiou aérien</b>	Charlène	2017	Tomate	Moyenne	Lithothamne + bouillie bordelaise	Compost Algo-Forestier® 35t/ha en 2017	
	Alan	2018	Tomate	Forte		Fumier de bovin composté 6 mois 10t/ha en 2018	
<b>Mildiou</b>	Michael	2017	Epinard	Forte		Fumier de bovin composté 2 mois 15t/ha en 2017	149

Figure 19 : Tableau récapitulatif des pressions maladies et ravageurs (pour lequel un lien entre fertilisation et pression a été identifié dans la littérature) observées en 2017 et 2018, en lien avec les pratiques de fertilisation et les teneurs en azote nitrique des sols

Jean Charles a développé une certaine expérience dans la gestion des pucerons au fil des ans. Il a observé une différence de pression de puceron selon la dose de fumier qu'il apportait. Il y a quelques années, ces apports sur cultures de poivron étaient de 20 tonnes/ha de fumier frais. Face à la pression de ces ravageurs, il est passé à 10 tonnes/ha et l'effet sur la réduction de la sensibilité de la culture a été visible. Cette même observation a été également faite sur culture de courge. Cependant, ce producteur tolère les pucerons sur certaines cultures, par exemple la pomme de terre, où la présence de pucerons assez peu préjudiciable pour la culture lui sert d'indicateur pour savoir si la fourniture azotée a été suffisante.

Concernant les maladies, en se basant sur les courbes sur culture de melon chez Alan, on peut supposer que la culture de tomate chez Alan a pu bénéficier de plus d'azote disponible que la culture de tomate implantée chez Charlène. Chez Alan, le niveau élevé de nitrate a potentiellement pu être un facteur d'aggravation de la maladie.

Sur la culture d'épinard suivie chez Michael, une forte pression de mildiou a été constatée seulement pour la planche fertilisée avec 15t/ha de fumier de bovin composté (Voir IV.A Michael). Aucune pression de cette maladie n'a été observée sur les modalités fertilisée avec 5 ou 10t/ha de l'amendement. Ce résultat peut suggérer une corrélation positive entre fertilisation azotée et sensibilité de la culture vis-à-vis de la maladie.

### **C. Essai fertilisation sur culture de chou rouge et chou de milan**

Seuls les premiers résultats sont présentés ici, l'essai étant toujours en cours. Un rendement brut à la récolte sera effectué fin septembre.

La normalité et l'individualité des résidus est respectés pour les 6 variables représentées par les teneurs en nitrates sur les 1ers 25cm de sol de tous les prélèvements effectués pour les 6 dates de prélèvement. L'hypothèse d'homoscédasticité est respectée pour toutes les variables sauf pour celle constitué des prélèvements réalisés le 27 juin. L'élimination d'un résidu suspect et le remplacement de la donnée concernée par estimation de Yates a permis de valider cette hypothèse d'homoscédasticité et de réaliser l'ANOVA.

A l'issu des analyses de variances effectuées, aucun effet bloc n'a pu être mis en évidence. Seul les ANOVA réalisés sur les prélèvements du 27 juin et du 10 juillet permettent d'identifier un effet de la fertilisation apportée. Des groupes ont été identifiés (A, B, C) à l'aide d'un test de comparaison des moyennes.

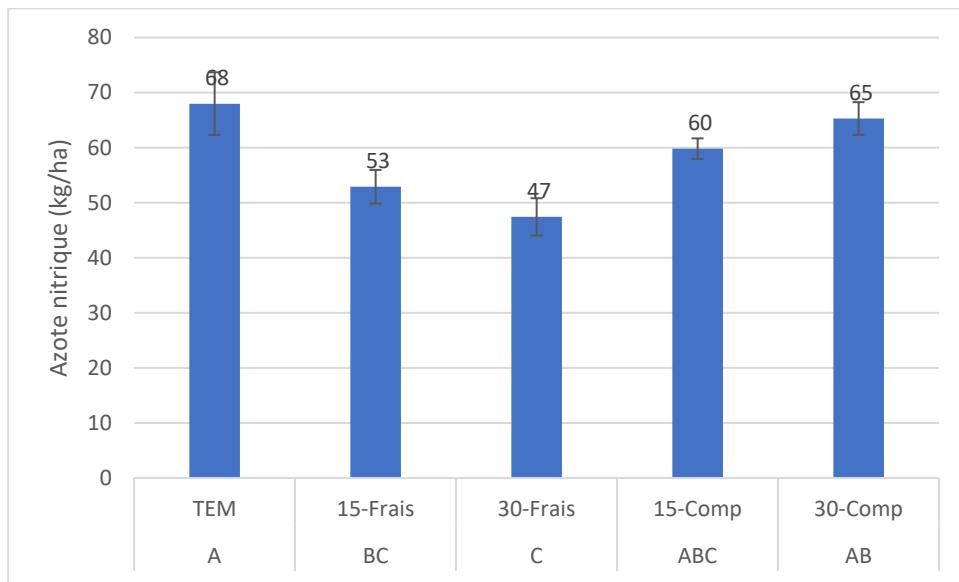


Figure 20 : Teneurs en nitrates sur les 1ers 25 cm. Moyenne et écart-type. 27 juin ( $P + 8$  j,  $l+29$  j). Les lettres A, B et C correspondent aux classements par groupe des modalités à l'issu des tests de comparaison de moyennes.

Le 27 juin, 8 jours après plantation des choux, une différence significative entre les moyennes des différentes modalités de fertilisation a pu être mise en évidence (figure 20). Le témoin non fertilisé est significativement supérieur aux modalités fertilisées avec du fumier frais, soit les modalités 15-Frais et 30-Frais. Ce résultat pourrait s'expliquer en grande partie par les résidus de pailles non décomposés présents dans le fumier frais. Ces résidus ayant un rapport C/N élevé entre 90 et 120 (Aboulam, 2005), les micro-organismes du sol vont théoriquement avoir besoin de mobiliser de l'azote du sol pour dégrader cette MO. C'est l'organisation de l'azote minéral par les micro-organismes qui est potentiellement responsable de cette plus faible teneur en nitrates du sol des modalités fertilisées avec du fumier frais.

A la différence d'un fumier qui a été bien composté, produit homogénéisé par retournement et actions biologiques, un fumier frais peut être réduit à d'un côté des pailles dures à dégrader, pauvres en azote et riches en carbone et de l'autre, des bouses riches en azote dont une part est minérale, donc sensible au lessivage.

On peut supposer que les précipitations importantes de début juin (94 mm entre le 3 et le 11 juin) aient pu contribuer à une lixiviation des nitrates sur cette période (5% de l'horizon 0-30 d'après figure 3) renforçant le phénomène d'organisation observé.

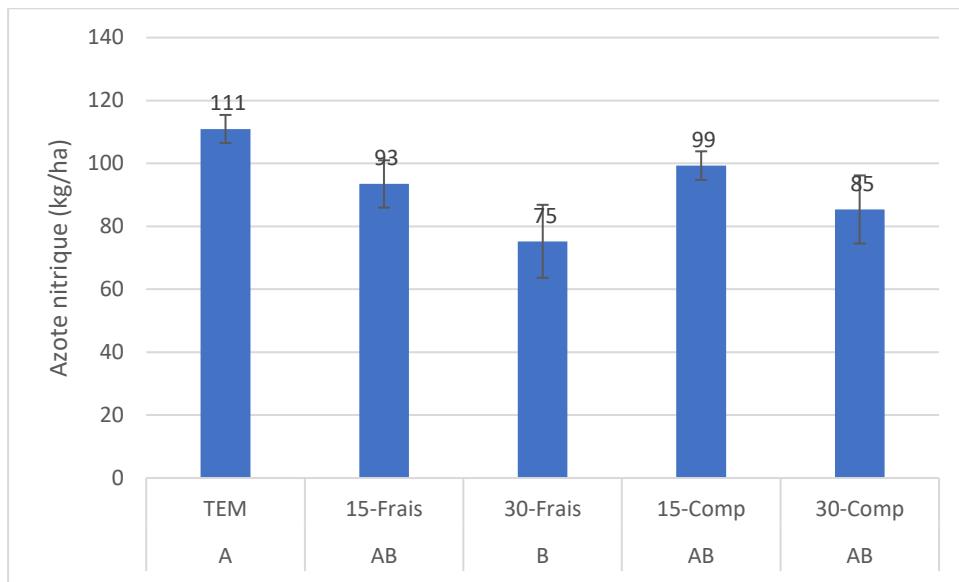


Figure 21 : Teneurs en nitrates sur les 1ers 25 cm. Moyenne et écart-type. 10 juillet ( $P + 21$  j,  $l+42$ j). Les lettres A et B correspondant aux classements par groupe des modalités à l'issu des tests de comparaison de moyennes.

Le 10 juillet, 21 jours après plantation, on observe une différence significative entre la modalité témoin et cette fois seulement la modalité fertilisée avec 30t/ha de fumier frais (figure 21). En tendance, on observe aussi un comportement similaire sur la modalité fertilisée avec 30t/ha de fumier composté. Ce résultat semble indiquer qu'à partir de cette période, l'organisation touche de manière plus importante le fumier composté, l'organisation étant d'autant plus importante que l'a été l'apport.

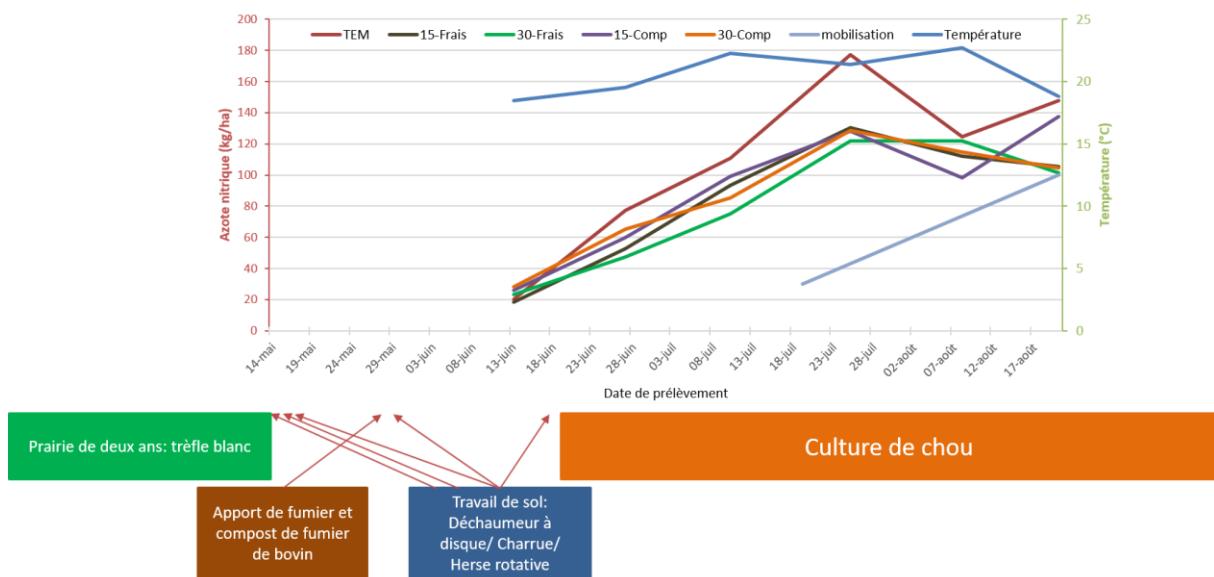


Figure 22 : Teneur en nitrates sur les 25 1<sup>er</sup> cm de sol, température, mobilisation azotée de la culture en kg N/ha (en bleu clair) et itinéraire technique de l'essai

Les teneurs en nitrates du sol des différentes modalités augmentent de manière générale sur les premiers prélèvements (figure 22). La modalité témoin semble visuellement se détacher

des autres courbes le 27 juin et 10 juillet. Le 25 juillet, ce détachement s'accentue mais l'analyse de variance réalisée ne permet pas de mettre en évidence une différence statistique significative entre les modalités de fertilisation, les écart-types observés sont très importants. Une baisse des teneurs en azote nitrique du sol est constatée à partir du 8 août, particulièrement pour la modalité témoin. Cette baisse des taux observée peut être expliquée par un accroissement de la mobilisation azotée de la culture de choux s'intensifiant à partir du deuxième mois après plantation : 50 kg N/ha mobilisés par la culture par mois le deuxième mois, puis 60 et 50 les mois suivants (SERAIL, 1998).

Une attaque de piéride a été rencontrée début juillet sur la culture. L'espèce de lépidoptère la plus représentée étant la piéride du chou, quelques piérides de la rave ont été observées de manière anecdotique (figures 23, 24 et 25)



Figure 23/24/25 : Piérides du chou ramassées sur trois choux successifs au sein de la zone la plus atteinte/Piéride de la rave/Dégât sur feuille

Une notation simple a été réalisée pour évaluer l'impact de cette attaque sur les différents traitements de l'essai. Le détail de sa réalisation est présenté dans la partie III.G. Pour les besoins du salon qui est un espace de démonstration, il a été nécessaire d'intervenir pour que la culture soit présentable devant le public. Un traitement à base de *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* a été réalisé en plein, le 10 juillet, il s'est montré très efficace. La culture a ensuite été couverte avec des filets de protection sur le reste du cycle pour éviter de nouvelles attaques mais empêchant aussi d'autres notations.

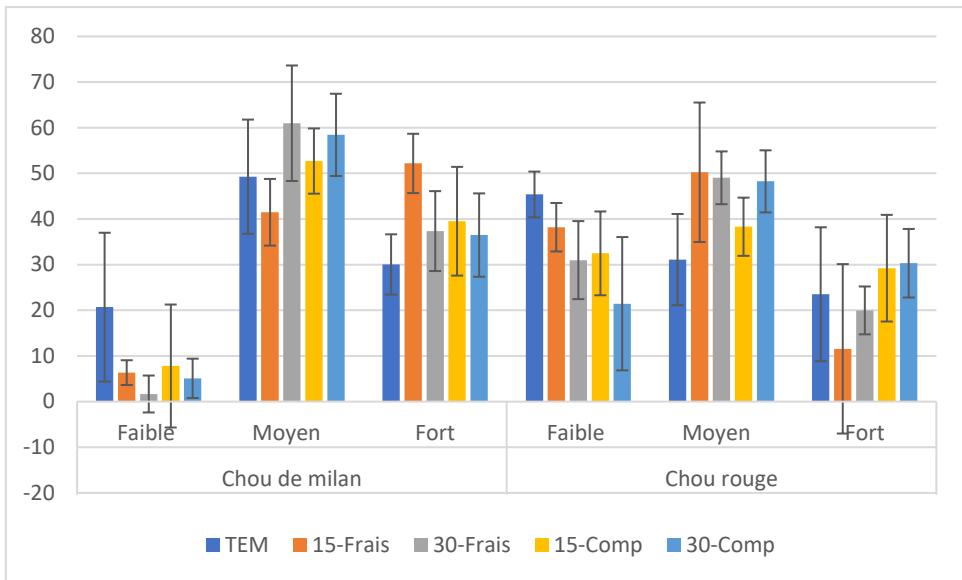


Figure 26 : Dégâts sur feuilles constatés le 06 juillet 2018, rapports moyens des choux sur lesquels ont été constatés des dégâts faible, moyen et fort sur le nombre de chou total par modalité

En tendance, on observe une plus grande pression sur les choux de milan que sur les choux rouges avec plus de dégâts de défoliation forte constatés sur ce type de choux (figure 26).

Si on s'intéresse à l'effet de la fertilisation, on observe une tendance à des dégâts réduits sur la modalité non fertilisée sur les choux verts. En tendance, ces résultats semblent aller dans le sens d'une corrélation inverse entre taux de nitrates et dégâts observés sur les choux verts en considérant les prélèvements réalisés le 27 juin. Cependant, les différences entre dégâts ne sont pas très marquées et non confirmées par la tendance sur chou rouge.

Il faut considérer ces résultats en sachant que les analyses de variance réalisées ne montrent aucun effet bloc ni fertilisation sur les rapports de dégâts obtenus. De plus, les écarts types visibles sur la figure 26 sont très élevés. Ces résultats ne permettent donc de tirer aucune conclusion sur la pression de piérides.

## V. Discussion des résultats

### A. Liens entre pratiques des maraîchers et dynamiques de minéralisation

Les valeurs observées sur l'ensemble des courbes étudiées peuvent s'expliquer par les pratiques suivantes :

D'abord les pratiques qui stimulent la minéralisation de la MO, principaux mécanismes impliqués dans l'augmentation des taux de nitrate :

- D'une part celles qui apportent de la « nourriture » pour les micro-organismes impliqués.

C'est-à-dire les apports de MO : amendements, engrais, EV, résidus de culture assez facilement dégradables pour les micro-organismes du sol. (Les courbes qui montrent le plus clairement cet effet sont les essais réalisés chez Michael ainsi que les courbes des cultures chez Jean-Charles)

Ceci s'inscrit dans les références existantes dans le domaine qui montrent dans la plupart des cas d'apport une minéralisation supérieure à l'organisation à l'échelle de la culture pour la plupart des apports de MO réalisés. (CTIFL, 2018 ; Masunga et al. 2016)

- D'autres part, celles qui favorisent l'activité de ces micro-organismes :

Les travaux de sols permettent d'incorporer, de mélanger la MO au sein du sol, augmentant la surface de contact potentiellement attaquable par les micro-organismes qui vont dégrader cette MO. Les travaux de sol vont aussi créer de la porosité. Cette porosité va entraîner un réchauffement du sol plus rapide qu'en sol non travaillé (air présent dans la porosité, ressuyage plus rapide) ainsi qu'une aération.

Plus les travaux de sols sont fins, plus cet effet sera important (Effet rotavator ou cultirateur > labour). Ce mécanisme a été identifié dans de nombreuses courbes, les plus caractéristiques sont celles de Thomas (annexe 9) et la culture chou 2018 d'Erwann où l'effet est visible en l'absence de fertilisation avant la culture. Les courbes où les augmentations des teneurs en nitrates du sol sont les plus corrélées à l'augmentation de la température sont les courbes de Jean-Charles sur courgette 2018 et la culture de culture de chou 2018 d'Erwann.

Ces résultats confirment également les références existantes qui identifie l'origine de l'influence des travaux de sols sur la minéralisation de l'azote par leur action sur :

La température du sol, sa structure, ses propriétés hydrauliques

La distribution de la MO au sein du sol

La protection physique de la MO au sein d'agrégats (Silgram et Sheperd, 1999).

Les buttages vont d'autant plus stimuler cette activité ainsi que la pose de paillage polyéthylène de couleur noire (réchauffement plus rapide). (Thomas 2018, annexe 9)

Le chaulage va aussi avoir tendance à activer la minéralisation et nitrification de l'azote : d'une part par l'effet corrosif de la base sur les MO si les deux amendements (basiques et organiques) sont apportés en même temps, d'autre part, en améliorant les conditions de vie des populations microbiennes en cas de pH acide. (Eventuellement chez Alan en 2017, annexe 9)

Une autre manifestation visible de cet effet température sur l'activité de minéralisation est la différence de taux de nitrates des sols constatée entre les systèmes SA et les systèmes de PC. A titre d'indicatif, la moyenne de tous les prélèvements PC réalisés sur 2 ans est de 60 unités N/ha tandis que son homologue sous abri vaut 103 unités N/ha.

En système de PC les taux observés se situent assez couramment sous les 100 unités d'azote nitrique par hectare et dépassent très rarement les 200 unités.

En culture SA, on observe assez couramment des taux compris entre 200 et 300 unités avec beaucoup moins de pertes sur la saison hivernale.

Cependant, le facteur température n'est bien sûr pas le seul facteur à entrer en jeu dans ces observations. Le système sous abri est beaucoup moins touché par les températures hivernales bien sûr mais aussi par les précipitations responsables de pertes potentielles par lixiviation, qui renforce le refroidissement et peuvent avoir un rôle dans des processus de dénitrification éventuels. Les systèmes de cultures sont aussi plus intensifs SA, ce qui va de pair avec plus de fertilisation et plus de travaux de sols, stimulant d'autant plus la minéralisation et participant à ce résultat.

Au contraire, d'autres pratiques peuvent de la même manière ralentir cette activité :

- La couverture du sol par une couche organique épaisse (broyat de bois, paillis) va avoir tendance à isoler le sol et ralentir son réchauffement.

La dégradation de ces matières dures à dégrader à C/N élevés peut occasionner des faims d'azote ou organisations réalisés par la vie du sol qui a besoin d'aller « chercher » l'azote du sol pour rétablir un rapport carbone/azote plus bas nécessaire à son activité. (Itinéraire expérimental d'Erwann, dans une moindre mesure Guillaume)

Les références existantes mettent en évidence une conservation de l'eau du sol et une réduction de la température dans le cas de culture sur paillage végétal. Les taux de nitrates du sol peuvent être affectés négativement par la présence du paillage dans le cas d'un paillage de céréale couché, mais aussi positivement dans le cas de mulch de légumineuses. (Murungu et al., 2011 ; Wells et al., 2013)

- Les précipitations mais aussi les arrosages excessifs peuvent aussi être responsables de pertes d'azote minéral par lixiviation. (L'exemple type est la perte d'azote liée aux

précipitations hivernales, particulièrement en sol non couvert, l'exemple le plus adapté ici est la perte subie pendant l'hiver 2017 sur la parcelle de Thomas, malgré la non dissociation possible des mobilisations réalisées par la culture de poireau)

La bibliographie montre aussi une sensibilité accrue de la lixiviation dans le cas où la parcelle a été travaillée, (Colbourn, 1985 ; Catt et al. 1992 et Goss et al., 1988 dans Silgram et Sheperd, 1999) Au contraire, un effet de la limitation des lixiviations hivernales des nitrates par la présence d'engrais vert a été démontré. (Beaudoin et al., 2005 ; Hansen et Djurhuus 1997)

Le principal apport de ce présent travail consiste à permettre aux maraîchers du groupe de se représenter ce qui se passe en termes d'évolution des taux d'azote nitrique de leur sol, comprendre les dynamiques observées par rapport à leurs pratiques, aux conditions climatiques ainsi qu'avoir une idée de la satisfaction des besoins azotés des légumes cultivés.

## B. Analyse des pressions des bioagresseurs

Pour les maladies et bioagresseurs présents au sein de la figure 19, partie IV.B, les références montrent une corrélation positive entre fertilisation azotée et sensibilité au bioagresseur pour la culture observée. Dans certains cas, cette corrélation ne concerne pas le couple précis bioagresseur/culture observée mais a été étudiée sur une autre culture ou pour un bioagresseur proche de celui-observé. (Voir annexe 4)

Concernant les acariens, les résultats et les hypothèses formulées vont dans le sens de la bibliographie qui montre qu'une fertilisation azotée croissante est aussi corrélée à une plus grande population d'acariens, notamment le tétranyque tisserand observée sur culture de tomate (Raynal et al., 2014) et de fraisier (Alizade et al., 2016).

S'agissant des pucerons, de nombreuses références bibliographiques confirment l'hypothèse de la responsabilité des taux de nitrates importants chez Alan (figure 27) de même que les « dire d'expert » de Jean Charles qui soulignent une sensibilité accrue aux pucerons en cas de fertilisation plus importante.

De manière générale, la bibliographie établit un lien de corrélation positive entre fertilisation azotée et sensibilité des cultures à la plupart des insectes piqueurs-suceurs qui serait expliquée par une concentration en acides aminés libre plus importante de la sève élaborée. (Huber et al., 2012). En culture de légume, ce lien a été montré pour différentes espèces de pucerons, notamment le puceron cendré du chou (Megaladevi, 2018).

L'hypothèse que la fertilisation azotée est impliquée dans la plus forte sensibilité au mildiou aérien de la tomate (*Phytophthora infestans*) n'est pas confirmée par la bibliographie. Cependant, pour des niveaux de sévérité intermédiaires, la maladie cryptogamique est

favorisée par des taux élevés de fertilisation azotée en culture de pomme de terre. (Juárez et al., 2000 ; Mittelstraß et al. 2006)

Enfin concernant le **mildiou de l'épinard** (*Perenospora destructor*) une **augmentation de la fertilisation azotée provoque une augmentation de la sévérité du pathogène** quelle que soit la forme d'azote utilisée en culture d'oignon (Develash et Sugha, 1997). Si le pathogène identifié par le producteur est bien *Perenospora destructor* il est possible que cette sensibilité accrue à la fertilisation azotée soit aussi valable dans le cas de l'épinard, ce qui conforterait les résultats observés sur la culture de Michael.

Même si une relation entre fertilisation azotée et le bioagresseur en question est identifiée dans la littérature, la question de la quantification de cet effet reste encore assez peu traitée pour la plupart des couples bioagresseur/culture étudiés.

**La fertilisation n'est pas le seul facteur qui agit sur les populations de ravageurs.**

Par exemple, les populations d'acariens sont surtout favorisées par les **conditions environnementales**, chaudes et sèches de la même manière que les thrips. Ainsi, « le développement du tétranyque tisserand est optimal entre 23 et 30°C à une humidité relative inférieure à 50% ». (Ephytia)

Enfin, **la pression de certains insectes possède une réponse assez limitée à la fertilisation**. **C'est le cas du doryphore** parmi les insectes observés dont l'abondance ne semble pas varier de manière significative selon le taux de fertilisation organique apporté d'après la bibliographie. (Jansson et Smilowitz, 1985 ; Boiteau et al., 2008) Pour cet insecte, des travaux sur d'autres leviers tel que le choix variétal et la limitation des repousses de culture semble plus prometteurs.

**La fertilisation azotée est un levier important à prendre en compte pour la maîtrise des bioagresseurs ; elle doit être combinée à d'autres leviers dans le cadre d'une approche plus globale pour la mise au point de méthodes de protection des cultures.**

### **C. Essai fertilisation sur culture de chou rouge et chou de milan**

Les résultats provisoires de l'essai concernent principalement la caractérisation de la minéralisation des MO utilisées. Il semble que les amendements organiques utilisés ont conduit à une organisation de l'azote du sol supérieure à leur minéralisation azotée. Cet effet ayant été mis en évidence de façon significative seulement sur les prélèvements réalisés 1 à 2 mois après incorporation. L'organisation semble supérieure dans le cas du fumier frais.

Ce résultat confirme les références bibliographiques où les différentes études conduites sur la minéralisation de fumier de bovin composté ou non conduisent parfois à une augmentation de la teneur en azote du sol, parfois à une diminution. (CTIFL, 2018 ; Salducci, 2012 ; Agrotransfert, 2016)

Ce constat vient sans doute de l'hétérogénéité de ces amendements. En fonction de la proportion du mélange paille/bouse et du processus de compostage. On peut résulter à des produits très divers en termes de caractéristiques.

Dans notre cas, les deux amendements étaient très riches en paille, de nombreux résidus de paille peu décomposés étaient présents, y compris dans le fumier composté. Cette observation allant dans le sens des résultats observés qui se traduisent par une mobilisation de l'azote du sol plutôt qu'à un apport.

#### **D. Limites et incertitudes**

L'étude s'inscrit dans un projet d'accompagnement d'un groupe par un organisme de développement. Dans le projet, le choix a été fait de suivre la minéralisation de l'azote dans les cultures en condition de productions pour donner aux maraîchers quelques informations sur ce qui se passe quand ils apportent différents types de MO dans leur sol. De manière générale, cette étude permet de dégager des résultats assez complexes à interpréter et elle présente des limites. Pour mettre en évidence une relation claire entre dynamique de minéralisation azotée et pratiques des maraîchers ou entre fertilisation azotée et pression des bioagresseurs, il faudrait mettre en place des essais factoriels analytiques.

Dans les **essais factoriels**, on cherche à **montrer l'effet d'un ou quelques facteurs sur une variable**. On cherche à isoler les facteurs en question des autres facteurs non étudiés puisque ces derniers perturbent les effets que l'on cherche à mettre en évidence.

Pour contrôler ces facteurs, on peut ici :

- Les supprimer. Un exemple concret peut être trouvé dans les analyses des courbes de minéralisation (L'absence de culture a parfois supprimé l'effet mobilisation et rendu plus visible l'effet des pratiques sur la dynamique de minéralisation)
- Les maintenir constantes (Un exemple sera évoqué dans la partie V.C qui s'attachera aux pistes d'améliorations directes)
- Ou à défaut estimer les effets qu'ils peuvent avoir sur la réponse observée. C'est ce que nous avons le plus souvent essayé de faire dans cette étude.

Ce contrôle est d'autant plus difficile que ce nombre de variables est important. C'est ce nombre de facteurs très important qui est principalement responsable de la difficulté que nous avons eu à interpréter les résultats obtenus.

D'autres types d'essais se sont développés ces dernières années, ils s'inscrivent dans l'expérimentation système.

Dans un **essai système**, on étudie les résultats du système de culture dans son ensemble, état de la parcelle, rendement, qualité, performances socio-économiques et environnementales.

**On fixe des objectifs pour chaque SDC testé et l'expérimentation mise en place vise à déterminer si les systèmes de culture répondent aux objectifs qui leurs ont été fixés.** (INRA).

Les résultats obtenus sont donc à replacer dans le contexte dans lequel nous nous trouvons.

Si le travail de suivi réalisé n'est pas une expérimentation « système » sensu stricto, il s'intègre davantage dans une approche globale du système en conditions de productions avec ses contraintes :

- Un contexte de production : le rendement et la qualité ne doit pas être ou peu impacté, le temps des producteurs à consacrer aux expérimentations, à la fourniture d'informations, aux réunions collectives est limité.
- Un travail au sein d'un organisme de développement, un GAB, et non pas au sein d'une station d'expérimentation ou établissement de recherche. Les moyens humains, matériels, financiers, temporels ainsi que les compétences et objectifs de ces entités respectives sont très différents.

### **Analyses des courbes de minéralisation**

Si on s'intéresse aux prélèvements réalisés, le nombre de prélèvements limité a pu conduire à un biais notamment expliqué par l'éventuelle non homogénéité des matières organiques dans le sol et la distance des prélèvements par rapport aux plants.

Les données météorologiques utilisées sont celles de la station climatique Rennes Saint Jacques. Selon la distance des sites, plus de 40 km pour certains (figure 4), la fiabilité de ces données est discutable notamment concernant la pluviométrie. Des pluviomètres relevés régulièrement sur chaque site de PC suivi qui auraient pu permettre de mieux coller aux réalités locales.

Une estimation plus précise de l'irrigation apportée particulièrement sous abri aurait été nécessaire. Il conviendrait à l'avenir d'avoir le moyen d'accéder à cette information sur tous les sites suivis, quitte à installer éventuellement des compteurs d'eau.

Les données concernant la mobilisation des cultures légumières sont assez difficiles à trouver et très hétérogènes en fonction des sources. La mobilisation réelle des légumes est variable selon la variété utilisée, la densité de la culture et l'objectif de rendement. Ces données doivent donc être simplement considérées comme une approximation des besoins azotés au cours du cycle de la culture.

Une analyse en laboratoire des fumiers et compost de fumiers utilisés auraient permis d'obtenir les caractéristiques réelles des produits utilisés, notamment la MS et la teneur du produit en azote (organique et minéral).

Les rendements ne sont pas connus des maraîchers pour toutes les cultures. Les rendements en lien avec des références comparables permettent notamment de compléter la réflexion au niveau de la mobilisation azotée de la culture, de l'impact des pressions observées.

Des dosages des taux d'azote présents dans les tissus végétaux des légumes (dosage du nitrate possible avec la méthode Nitratech®) peuvent être intéressants dans le cas où elles sont comparées à d'autres valeurs de références. Un dosage de l'azote total de toutes les parties de la plante associé à la masse de chaque partie pouvant donner lieu à des estimations de mobilisations, exportations et restitutions plus précises que les valeurs utilisées.

Des analyses de sol récentes sur tous les sols étudiés auraient potentiellement permis d'identifier des différences en termes de caractéristiques de sol et donc d'aider à expliquer des comportements différents.

### **Analyse des pressions des bioagresseurs observées**

Les résultats issus de l'analyses des pressions sont assez limités, le résultat le plus fiable provenant du groupe vient de l'expérience d'un producteur vis-à-vis des pucerons.

Ce constat est en lien avec l'explication citée en début de partie V.D qui est le nombre de variables très important.

Comme nous l'avons vu dans la partie II.D, les liens entre fertilisation azotée et bioagresseurs dépend de nombreux facteurs, ils sont loin d'être toujours identifiés et compris pour tous les couples culture/bioagresseur.

Si l'on se réfère à la bibliographie scientifique, les essais qui produisent ce type de résultat sont factoriels et cherchent à contrôler un maximum de variables :

- Ils travaillent généralement sur une seule culture plantée/semée à la même date.
- Des modalités de fertilisation différentes sont répétées. Quand on cherche à établir un lien avec l'azote, on travaille généralement avec un apport seulement d'azote, donc avec un apport d'azote minéral. La forme d'azote minéral utilisée faisant aussi souvent varier la réponse (voir annexe 4). L'isolement du facteur azote dans ces conditions expérimentales expliquent que les essais soient le plus souvent réalisés en apportant de l'azote minéral de synthèse.
- On cherche généralement à mesurer l'effet de la fertilisation sur la pression d'un seul bioagresseur. Cette pression est mesurée par des indicateurs précis et mesurables : des comptages, des temps de développement...

- Enfin, les données sont comparées sur un même site expérimental, sur une parcelle la plus homogène possible avec des pratiques similaires.

Malgré ce contrôle, l'obtention d'une relation claire n'est pas toujours aisée. Un lien ne pouvant être établi de façon formelle seulement quand un certain nombre d'études sur le même couple bioagresseur/culture a été mené et que la majorité obtiennent des résultats convergents. Même dans le cas où une réponse à l'azote est identifiée et confirmée par de nombreuses autres, l'explication responsable n'est pas liée qu'à l'azote mais la résultante de différents facteurs ; notamment de la fourniture en autres éléments minéraux comme survolé dans la partie II.D (Une réponse à l'azote peut être expliquée par exemple par un rapport N/P modifié).

Dans notre étude, très peu de contrôle des variables a été effectué. Les sites (donc conditions pédo-climatiques), parcelles, cultures, espèces, dates de plantation/semis, pratiques : travail de sol, fertilisation (dose et produits utilisés) étaient le plus souvent différents.

Les réponses obtenues étaient souvent qualitatives (pression faible, moyenne, forte) variant selon l'appréciation et le seuil d'acceptation de chaque producteur.

Un certain nombre d'informations complémentaires auraient été nécessaires, comme évoquées dans partie V.A (caractéristiques des produits, notamment des effluents d'élevage, analyses de sol...)

En considérant ces éléments, les incertitudes autour de l'obtention de résultats probants apparaissaient fortes dès le début de l'étude, il est donc assez logique que les résultats obtenus soient difficiles à interpréter.

### **Essai fertilisation sur culture de chou rouge et chou de milan**

L'essai s'inscrivant dans une logique d'expérimentation factorielle, d'autres limites peuvent être évoquées :

D'abord, l'espace disponible sur le site du salon et les ressources matérielles et humaines consacrées à l'essai nous ont poussé à réaliser un essai relativement petit. Des limites apparaissent dans le dispositif choisi.

Chaque parcelle élémentaire ne représente qu'un espace de 1,4 m de large sur 8 m, soit 11,2 m<sup>2</sup>. Cet espace semble limité, particulièrement en termes de largeur. En station expérimentale, les parcelles élémentaires sont plus larges, les notations étant réalisées au centre de chaque parcelle élémentaire. Ceci permet de limiter l'impact des modalités situées à proximité sur celle que l'on cherche à mesurer. Dans notre cas, deux cultures sont présentes par parcelles élémentaire, les notations se font donc sur l'ensemble de chaque parcelle élémentaire compte tenu de la taille réduite de l'échantillon, on ne peut dégager de zones centrales où on peut considérer la culture comme plus représentative de l'effet de la modalité à tester.

Un exemple de risque concret d'erreur générée est, par exemple, lors de l'incorporation des amendements, une possibilité qu'une partie d'un produit ait pu se retrouver dans une modalité où il n'aurait pas dû être (Un contrôle fait par marquage à la bombe de peinture du fumier indique que cet effet se limite à environ 10cm de chaque côté d'une parcelle élémentaire. Les choux extérieurs sont plantés à 25 cm du bord)

Concernant la notation réalisée sur la pression de piéride, il faut considérer que cette notation n'a pas été anticipée à l'avance. C'est lors de la constatation des dégâts lors d'une visite pour entretien des cultures du salon qu'il a été décidé de la réaliser. Des données numériques auraient été préférables à cette classification par niveau car plus précises et donnant lieu à une seule variable plutôt qu'à trois classes. On aurait pu envisager :

- Une notation de dégât donnant un pourcentage de défoliation par chou
- Un comptage de larves et œufs présents par feuille

Enfin, le précédent de la culture était une prairie de 2 ans semée en trèfle blanc. Ce précédent a sûrement apporté des quantités conséquentes d'azote à la culture pouvant avoir atténué l'effet du facteur fertilisation sur la culture et notamment son rendement.

### **E. Propositions de travail pour l'avenir du groupe**

En tenant compte des contraintes évoquées, des perspectives d'amélioration sont envisageables.

Dans le cas où les suivis nitrates sont maintenus en 2019 et 2020, il me semble nécessaire de réduire les facteurs de variations précédemment énoncés.

La principale perspective d'amélioration est représentée par le contrôle de variables en les maintenant constante :

A minima, le plus important semble l'identification de cultures communes sur lesquelles concentrer les travaux au sein du groupe. Ces cultures seront identifiées en tenant compte de la priorisation de raisonnement de la fertilisation pour les producteurs. Il peut aussi être intéressant de travailler sur des cultures qui peuvent représenter des parts importantes du chiffre d'affaires des maraîchers. La mise en relation de la priorisation des pressions et dégâts rencontrés ainsi que les liens établis dans la bibliographie entre fertilisation azotée et les différents bioagresseurs rencontrés par les maraîchers du groupe sur leurs cultures rentrant bien sûr aussi en ligne de compte dans ce choix.

Compte tenu des informations dont nous disposons, des propositions peuvent être faites sur les cultures suivantes qui sont des plantes exigeantes où un raisonnement de la fertilisation paraît intéressant.

- Tomate : liens entre pressions pucerons, acariens, thrips, aleurodes corrélés à la fertilisation azotée identifiés, liens potentiels concernant le mildiou à développer.
- Choux : liens entre pressions piérides et pucerons corrélées à la fertilisation azotée identifiés.
- Poireau : pression thrips corrélée à la fertilisation azotée identifiée, pression mouche mineuse et teigne éventuellement corrélée.

Une fois les cultures identifiées, il s'agira d'organiser des essais mettant en œuvre des modalités de fertilisation différentes. Ces essais doivent bien sur tenir compte du contexte de production dans lequel ils sont réalisés. Il faut notamment qu'ils soient simples à mettre en œuvre pour le producteur et qu'ils n'occasionnent pas ou peu de perte de rendement ou de qualité.

Il peut être intéressant de réaliser ces essais, autant que possible, sur des parcelles déjà suivies en 2017 et/ou 2018, permettant de valoriser les travaux réalisés sur ces années.

Ces modalités peuvent se baser sur les pratiques actuelles des producteurs pour plus de simplicité. 1 à 3 modalités de fertilisation différentes pourraient être mises en œuvre : par exemple la modalité de fertilisation utilisée actuellement par le producteur, une modalité moins fertilisée (deux fois moins par exemple) et une modalité plus fertilisée (deux fois plus par exemple).

Cependant, nous pouvons aussi envisager de maintenir constantes d'autres variables, ce qui augmentera les chances d'obtenir des résultats plus valorisables. Par exemple, la fertilisation. Nous pouvons envisager de travailler avec les mêmes produits sur différents sites. Nous pourrions utiliser sur chaque site choisi, 2 produits différents déjà utilisés par les maraîchers à différentes doses.

De plus, toute donnée supplémentaire parmi celles évoquées sera d'autant plus valorisable dans ce contexte d'essai (moindre besoin de comparaison à des références pas toujours adaptées puisque comparables entre elles).

Les éléments qui me semblent à la fois possible d'obtenir et indispensables sont pour comprendre la minéralisation : la pluviométrie précise de chaque site et l'irrigation apportée Pour l'étude dans son ensemble : les caractéristiques des effluents d'élevage et leur compost, le rendement, les caractéristiques des sols récentes des sites suivis et des notations précises sur la pression et dégâts des bioagresseurs.

Des concessions devront être faites, il ne sera pas possible de travailler chez tous les maraîchers du groupe en réalisant ces protocoles plus détaillés, avec des données et notations supplémentaires.

Tous ces éléments ainsi que les propositions faites sont à discuter avec l'animateur du groupe ainsi que les maraîchers afin d'identifier des protocoles éventuels pour les années à venir.

Ces essais permettraient de se donner plus de chance d'obtenir des résultats sur l'impact de la fertilisation sur le rendement de ces cultures et leur qualité ainsi que sur l'impact éventuel de la fertilisation sur la pression des bioagresseurs. Si un lien est identifié entre une pression aggravée du bioagresseur avec une fertilisation azotée plus importante, il sera intéressant d'évaluer le bénéfice de la réduction de la fertilisation par rapport à la baisse de rendement et qualité constatée et du coût de la fertilisation.

## **VI. Qualité de vie au travail (QVT) et Management**

La compétence choisie pour être développée au cours de la mission est la contribution à intégrer la QVT dans la performance globale. Elle fait appel à l'aptitude de développement d'un environnement de travail favorable à la performance et à la santé.

Différentes réflexions mise en place par Agrobio35 contribuent à intégrer la QVT dans la performance globale, nous avons choisi de développer la méthode de supervision sociocratique.

Tout d'abord, fin 2016, une réorganisation du fonctionnement global de l'entreprise a été réalisée. Auparavant, l'unique supérieur hiérarchique des employés était le coordinateur de l'entreprise et directeur. Les réunions rassemblaient l'ensemble de l'équipe salariée (soit 15 personnes) qui travaillaient sur des projets très différents, elles manquaient de spécificité donc d'efficacité, ce qui nuisait à la performance et à la qualité du travail. Au fur et à mesure du développement de l'entreprise, une réorganisation de l'entreprise s'est faite ressentir.

L'organisme a donc été divisé en différents pôles de spécialisation rassemblés au sein de cercles inspirés de la méthode de supervision sociocratique, qui se veut porteuse d'un environnement de travail de qualité par l'organisation de l'entreprise.

Chaque cercle est porté par des responsables de pôle et des seconds liens (personnes élues par leur cercle pour les représenter)

Il existe un cercle rassemblant les 3 pôles techniques, un cercle du pôle alimentation territoire, un cercle soutien et vie associative ainsi qu'un cercle supérieur représenté par le conseil d'administration et le directeur.

Ainsi différents types de réunions sont maintenant réalisées au sein de l'organisme ; des réunions au sein des différents cercles ainsi que des réunions générales où seuls les responsables et seconds liens de chaque cercle sont présents.

Cette méthode est théoriquement très favorable au développement d'un environnement de travail de qualité. En effet, dans la structure de supervision classique qui est linéaire, le superviseur peut se trouver en position de domination et les supervisés relativement impuissants à réguler le comportement de son superviseur.

Les avantages du modèle sociocratique tel que pratiqué à Agrobio35 sont essentiellement apportés par le cercle général où chaque cercle est représenté à la fois par un superviseur et un supervisé. Ceci permet à chacun d'exprimer leurs points de vue de manière égalitaire, réorienter leur travail et régler les éventuels différents existants. La figure 27 ci-dessous résume l'organisation de la supervision sociocratique mise en place à Agrobio35.

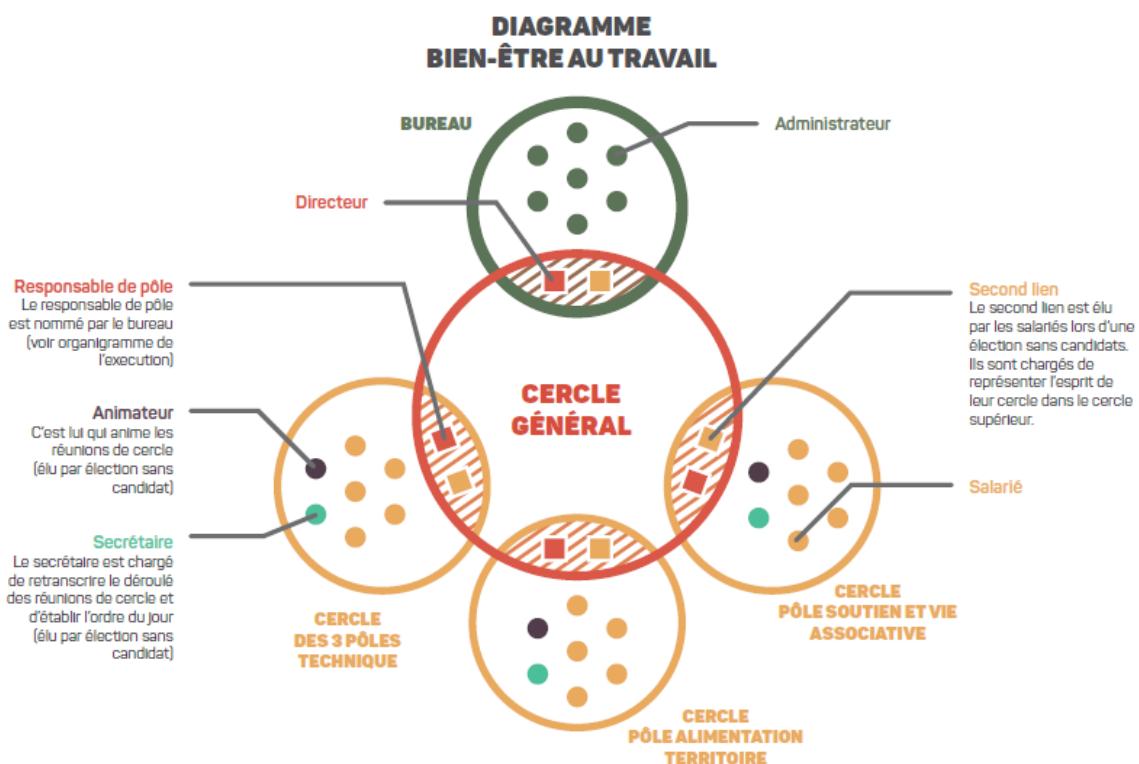


Figure 27 : Diagramme de la structure sociocratique d'Agrobio35 (Agrobio35)

## VII. Conclusion

En réponse aux besoins des maraîchers d'Ille et Villaine pour mieux raisonner leurs pratiques de fertilisation, un groupe DEPHY animé par Agrobio35 a été constitué. La problématique de travail de ce groupe s'est orientée autour de cette thématique, les attentes des maraîchers étant d'une part de mieux comprendre leurs pratiques et leur impact sur la minéralisation des produits utilisés ; dans l'idée d'une réflexion vers une optimisation de leurs apports de fertilisation. La thématique du groupe intègre aussi la problématique du lien entre fertilisation et pression de bioagresseurs observées sur les légumes.

Pour répondre à cette problématique, les moyens mis en œuvre ont majoritairement consisté en des suivis des teneurs en nitrates des 30 1<sup>er</sup> centimètres du sol chez les producteurs. Les courbes obtenues ont été mises en lien avec les pratiques des maraîchers, les mobilisations des cultures ainsi que la température ou le rayonnement. Une tentative d'établissement de lien entre pression des bioagresseurs rencontrés par les maraîchers et fertilisation azotée apportée a aussi été réalisée. Par ailleurs, un essai de fertilisation sur culture de chou a également été mis en place sur le site d'un salon professionnel. Cet essai avait pour principal objectif de comprendre la minéralisation de deux amendements organiques apportés à deux doses différentes ainsi que d'observer un impact éventuel sur le rendement et la qualité de la culture.

Les analyses des courbes des taux de nitrates ont permis de mieux comprendre la dynamique de minéralisation de l'azote au sein de ces différents sols maraîchers ainsi que la satisfaction des besoins azotés des légumes. Un certain nombre de liens entre pratiques et taux d'azote nitrique observés sur les 30 premiers centimètres du sol ont pu être établis, notamment pour les types et doses de MO apportées et les travaux de sol.

Cependant, compte tenu de la complexité de l'étude et de ses nombreuses variables ainsi que des moyens mis en œuvre, ces liens n'ont pu être établis factuellement et demeurent des hypothèses. Celles-ci serviront de base de réflexion pour envisager des changements de pratiques qui seront réfléchies au sein du collectif.

Pour exemple, les résultats de l'essai chou mettent en valeur des comportements différents en fonction des amendements organiques utilisés. Un impact des modalités de fertilisation sur le rendement pourra éventuellement être mis en évidence une fois la récolte des choux effectués. Enfin, les liens entre bioagresseurs rencontrés par les maraîchers du groupe et leurs pratiques de fertilisation n'ont pas pu être clairement mis en évidence compte tenu du protocole utilisé et des informations récoltées.

Différentes valeurs communes aux ingénieurs m'ont guidé au cours de cette étude.

D'abord, la thématique de travail développé au cours de la mission s'inscrit clairement dans une démarche de développement durable de l'agriculture, le maraîchage biologique faisant partie des agroécosystèmes les plus diversifiées et accueillant potentiellement les biodiversités les plus importantes.

La recherche de la mise en évidence de l'impact des techniques sur l'environnement a été prépondérante, par la thématique du lien entre pratiques des hommes d'une part et processus biologiques au sein des sols cultivés et pression des bioagresseurs d'autre part.

La mission réalisée s'implique clairement dans un esprit de construction et réflexion collective des savoirs qui visent à être diffusés. **La diffusion se faisant d'abord localement au sein du groupe de maraîcher, puis une fois que le projet arrivera à son terme, les résultats seront saisis par le réseau pour être revalorisés plus largement où intégrés dans des projets plus larges.**

L'expérience effectuée au sein d'un GAB, le lien avec la production est omniprésent. Ce contexte de production génère un certain nombre d'aléas et de situations imprévues auxquels l'ingénieur est capable de s'adapter pour agir rapidement en conséquence.

Le respect des valeurs de l'organisme et de ces adhérents a été indispensable pour cerner de manière claire les attentes du groupe et proposer des résultats qui leur soit appropriés.

La mission nous a imposé une recherche des meilleurs résultats que nous permettaient d'obtenir les moyens et compétences mis en œuvre, ceux-ci ont été pleinement utilisés tout en gardant à l'esprit leurs limites et leurs impacts sur les résultats obtenus.

La rigueur a été une qualité nécessaire à l'ensemble de la réalisation de la mission compte tenu des sujets complexes traités qui ont nécessité des compétences et connaissances variées nécessitant un travail d'acquisition important.

Cette expérience a été particulièrement enrichissante et a confirmé mon attrait pour le maraîchage biologique diversifié.

## VIII. Bibliographie

ABOULAM Smaïl. Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tri-compostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière. [en ligne]. 2005. p. 123.

Disponible sur : <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000156/01/aboulam.pdf> [Consulté le 22 août 2018].

Agence Bio. La bio dans les territoires fiches régionales et de production. [en ligne]. 2017, p. 75. Disponible sur :

[http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/documents/4\\_Chiffres/fiches\\_regionales\\_filières\\_production.pdf](http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/documents/4_Chiffres/fiches_regionales_filières_production.pdf) [Consulté le 20 avril 2018].

Agrotransfert. Gestion de l'azote en agriculture biologique. [en ligne]. 2016, p. 12. Disponible sur : <http://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2017/01/gestion-de-lazote.pdf> [Consulté le 20 avril 2018].

Alim'agri, Fermes DEPHY : réduire les intrants, c'est possible ! [en ligne]. 2018. Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/fermes-dephy-reduire-les-intrants-cest-possible> [Consulté le 20 avril 2018].

ALIZADE Marziyeh, HOSSEINI Mojtaba, MODARRES AWAL Mehdi, GOLDANI Morteza, HOSSEINI Afsane. Effects of nitrogen fertilization on population growth of two-spotted spider mite. Systematic and Applied Acarology, [en ligne]. 2016, Vol. 21, n° 7, pp. 947. Disponible sur : [10.1111/saa.12178](https://doi.org/10.1111/saa.12178) ISSN 1362-1971. [Consulté le 19 août 2018].

Amisol. Le compost jeune. [en ligne] Disponible sur :

<http://www.amisol.fr/media/documents/compostjeune.pdf> [Consulté le 06 septembre 2018].

Arseg. L'environnement de travail. [en ligne] Disponible sur :

<https://www.arseg.asso.fr/page/l'environnement-de-travail> [Consulté le 19 août 2018].

BERRY D. Raisonnement des apports de matières organiques en cultures légumières. [en ligne]. Echo MO n° 11. Mai Juin 1998. p. 2. Disponible sur :

<http://www.maraibio.fr/medias/files/apports-mo-legumes-echomo-1998.pdf> [Consulté le 20 avril 2018].

BEAUDOIN N., SAAD J.K., VAN LAETHEM C., MACHET J.M., MAUCORPS J., MARY B. Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: Effect of farming practices, soils and crop rotations. Agriculture, Ecosystems & Environment, [en ligne]. 2005, Vol. 111, n° 1-4, pp. 292-310. Disponible sur : [10.1016/j.agee.2005.06.006](https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.006) ISSN 01678809. [Consulté le 06 septembre 2018].

BOITEAU G, LYNCH D H, MARTIN R C. Influence of Fertilization on the Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, in Organic Potato Production. ENVIRONMENTAL ENTOMOLOGY, [en ligne]. 2008, Vol. 37, n° 2, pp. 11. Disponible sur : <https://pdfs.semanticscholar.org/a5df/96ad4a75e7491db64c1fc9ffbf9ef08ba773.pdf> [Consulté le 19 août 2018].

BONANOMI G, ANTIGNANI V., PANE C., SCALA F. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. Journal of Plant Pathology, [en ligne]. 2007, pp. 311–324. Disponible sur : <http://www.sipav.org/main/jpp/index.php/jpp/article/viewFile/761/548> [Consulté le 20 avril 2018].

Chambre d'agriculture de Bretagne. Fertilisation azotée Les légumes frais de plein champ en Bretagne. [en ligne]. 2015. Disponible sur : [comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE\\_AZOTE\\_20130705web.pdf](http://comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE_AZOTE_20130705web.pdf) [Consulté le 14 août 2018].

Chambre d'agriculture du Finistère. Le Nitrachek, un outil d'aide à la décision de terrain. [en ligne]. Terragricoles-de-Bretagne, vendredi 13 mai 2011. p. 1. Disponible sur : [http://www.bretagne.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/14759/\\$File/TERRA272\\_V\\_E29D\\_018.pdf?OpenElement](http://www.bretagne.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/14759/$File/TERRA272_V_E29D_018.pdf?OpenElement) [Consulté le 19 avril 2018]

Chambre d'agriculture Rhône-Alpes. Culture biologique la pomme de terre. [en ligne]. Disponible sur : [http://rhone-alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/TECHPJPARCLEF/13689/\\$File/pommedeterre-web.pdf?OpenElement](http://rhone-alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/TECHPJPARCLEF/13689/$File/pommedeterre-web.pdf?OpenElement) [Consulté le 14 août 2018].

CHATTON C. La promotion de l'agriculture biologique, la découverte d'un domaine d'activité. Rapport de fin d'étude. Toulouse : Sciences Po Toulouse, 2016, pp. 5-6.

CHAUSSOD R. La qualité biologique des sols : évaluations et implications. Etude et Gestion des sols. [en ligne]. 1996, Vol. 3, n° 4, pp. 261-278. Disponible sur : [http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS\\_3\\_4\\_CHAUSSOD.pdf](http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_3_4_CHAUSSOD.pdf) [Consulté le 19 avril 2018].

COMIFER. Guide méthodologique pour l'expérimentation au champ valeur agronomique des produits d'origine non agricole recyclés en agriculture. [en ligne]. Paris, Comifer, 2013, p. 159. Disponible sur : [http://www.comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE\\_AZOTE\\_20130705web.pdf](http://www.comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE_AZOTE_20130705web.pdf) [Consulté le 23 avril 2018]. ISBN 9782910393090

CTIFL. AZOPRO Le site de minéralisation des produits organiques. [en ligne]. 2018. Disponible sur : <http://www.ctifl.fr/azopro/default.aspx> [Consulté le 14 août 2018].

DEVELASH, R. K., SUGHA, S. K. Factors affecting development of downy mildew (*Peronospora destructor*) of onion (*Allium cepa*). Indian Journal of Agricultural Sciences. 1997. Vol.67. No.2 pp.71-74. ref.16.

DORDAS C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, [en ligne]. 2008, Vol. 28, n° 1, pp. 33-46. Disponible sur : <https://doi.org/10.1051/agro:200705> [Consulté le 4 mai 2018]. ISSN 1774-0746, 1773-0155.

GOBAT J.M, ARAGNO M., MATTHEY W. Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2010, pp.84-85. ISBN 9782880747183.

HANSEN E.Møller, DJURHUUUS J. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. Soil and Tillage Research, [en ligne]. 1997, Vol. 41, n° 3-4, pp. 203-219. Disponible sur : [10.1016/S0167-1987\(96\)01097-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01097-5) ISSN 01671987. [Consulté le 06 septembre 2018].

HOITINK H.A.J., BOEHM M.J. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate dependent phenomenon. Annual Review of Phytopathology, 1999, Vol. 37, pp. 427-446

HUBER D.M., Watson R.D., 1974. Nitrogen form and plant disease. Annual Review of Phytopathology, 1974, Vol. 12, pp. 139-165

HUBER D, RÖMHELD V, WEINMANN M. Relationship between Nutrition, Plant Diseases and Pests. In: P. Marschner. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. [en ligne]. Academic Press, 2012, pp. 283-298. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00010-8> [Consulté le 4 mai 2018]. ISBN 9780123849052.

INRA. Ephytia. [en ligne]. Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/Home/index> [Consulté le 03 mai 2018]

INRA. Systèmes agricoles innovants : l'expérimentation système. Disponible sur : <http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Systemes-agricoles/Tous-les-dossiers/experimentation-systeme> [Consulté le 07 septembre 2018]

ITAB. Guide des matières organiques. Guide technique de l'ITAB. Tome 1. 2001, pp. 19-31.

JANSSON R. K., SMILOWITZ Z. Influence of Nitrogen on Population Parameters of Potato Insects: Abundance, Development, and Damage of the Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa*

decemlineata (Coleoptera: Chrysomelidae). Environmental Entomology, [en ligne]. 1985, Vol. 14, n° 4, pp. 500-506. Disponible sur : 10.1093/ee/14.4.500 ISSN 1938-2936, 0046-225X. [Consulté le 19 août 2018].

JUÁREZ H S, AMARO J R, RIVERA M D, PÁRRAGA A, HIJMANS R J. The Effect of Nitrogen Fertilization on Potato Late Blight in the Field, [en ligne]. CIP Program Report 1999 – 2000. pp. 8. 2000. Disponible sur : <http://citeseervx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.578.627&rep=rep1&type=pdf> [Consulté le 19 août 2018].

MASUNGA Raphael Habai, UZOKWE Veronica Nwakaego, MLAY Peter Deusdedit, ODEH Inakwu, SINGH Ajay, BUCHAN David, DE NEVE Stefaan. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. Applied Soil Ecology, [en ligne]. 2016, Vol. 101, pp. 185-193. Disponible sur : 10.1016/j.apsoil.2016.01.006 ISSN 09291393.

MEGALADEVI P., PALLAVI D., MANJUNATHA M., APPA Sharanabas. Effect of Nitrogen Fertilizer on Population of Aphid [Brevicoryne brassicae (L.)] in Radish. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, [en ligne]. 2018, Vol. 7, n° 2, pp. 142-148. Disponible sur : <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.018> [Consulté le 19 août 2018].

METEO-FRANCE : Publithèque. [en ligne]. Disponible sur : <https://publitheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWebPubli/index.jsp> [Consulté le 28 août 2018].

Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. Plan Ecophyto II. [en ligne]. 2015, p. 67. Disponible sur : [http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/151022\\_ecophyto.pdf](http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/151022_ecophyto.pdf) [Consulté le 20 avril 2018].

MITTELSTRÀß K., TREUTTER D., PLEßL M., HELLER W., ELSTNER E. F., HEISER I. Modification of Primary and Secondary Metabolism of Potato Plants by Nitrogen Application Differentially Affects Resistance to Phytophthora infestans and Alternaria solani. Plant Biology, [en ligne]. 2006, Vol. 8, n° 5, pp. 653-661. Disponible sur : 10.1055/s-2006-924085 ISSN 1435-8603, 1438-8677. [Consulté le 19 août 2018].

MUNIER-JOLAIN N., ANCELET E., JOLYS O. Agrosyst, le système d'information au coeur du Plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides. [en ligne]. 2015, p. 20. Disponible sur : [https://colloque.inra.fr/opendata-et-agriculture/content/download/3626/38098/version/1/file/NMunierJolain\\_OpendataAgri\\_2015.pdf](https://colloque.inra.fr/opendata-et-agriculture/content/download/3626/38098/version/1/file/NMunierJolain_OpendataAgri_2015.pdf) [Consulté le 18 avril 2018].

MURUNGU F.S., CHIDUZA C., MUCHAONYERWA P., MNKENI P.N.S. Mulch effects on soil moisture and nitrogen, weed growth and irrigated maize productivity in a warm-temperate climate of South Africa. *Soil and Tillage Research*, [en ligne]. 2011, Vol. 112, n° 1, pp. 58-65. Disponible sur : [10.1016/j.still.2010.11.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2010.11.005) ISSN 01671987. [Consulté le 06 septembre 2018].

NOBLE R., COVENTRY E. Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review. *Biocontrol Science and Technology*, [en ligne]. 2005, Vol. 15, n° 1, pp. 3-20. Disponible sur : <https://doi.org/10.1080/09583150400015904> [Consulté le 7 mai 2018]. ISSN 0958-3157, 1360-0478.

PERENNEC S., ESTORGUES V. Nitrachek un outil rapide et fiable. *Aujourd'hui & demain*. [en ligne]. Août 2014, n°120, pp. 18-20. Disponible sur : <http://www.station-cate.fr/wp-content/uploads/2014/07/AD120.pdf> [Consulté le 19 avril 2018]

RAVIV M. Compost as a tool to suppress plant diseases: established and putative mechanisms. *Acta Horticulturae*, [en ligne]. 2016, n° 1146, pp. 11-24. Disponible sur : [10.17660/ActaHortic.2016.1146.2](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1146.2) [Consulté le 7 mai 2018]. ISSN 0567-7572, 2406-6168.

RAYNAL C., JULHIA L., NICOT P. Fertilisation et sensibilité des cultures de laitue et de tomate aux bioagresseurs. *Innovations Agronomiques*, 2014, Vol. 34, pp.1-17. [en ligne]. Disponible sur : <https://www6.inra.fr/ciag/content/download/5221/40853/file/Vol34-1-Raynal.pdf> [Consulté le 18 avril 2018]. ISSN 1365-3059.

RAYNAL C., NICOT P. Fertilisation et santé des plantes. *Recherches et Innovations Technologiques*. [en ligne]. Drummondville, 13 et 14 février 2012 Disponible sur : [http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/Raynal\\_1%5B1%5D.pdf](http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/Raynal_1%5B1%5D.pdf) [Consulté le 04 mai 2018].

RAYNAL-LACROIX C. Minéralisation des PO : acquisition de références. [en ligne]. Carrefour européen des techniques agricoles bio et alternatives. 7 et 8 septembre 2011. Disponible sur : [http://www.tech-n-bio.com/tl\\_files/articles/pages-programme/resumes/legumes/legumes-bio-fertilisation-part2.pdf](http://www.tech-n-bio.com/tl_files/articles/pages-programme/resumes/legumes/legumes-bio-fertilisation-part2.pdf) [Consulté le 31 juillet 2018].

Réseau GAB/FRAB. Fiche Observatoire - chiffres 2016 La bio dans les départements bretons Ille-et-Vilaine. [en ligne]. 2017, p. 2. Disponible sur : <http://www.agrobio-bretagne.org/observatoire/> [Consulté le 20 avril 2018].

Réseau GAB/FRAB. Les fiches techniques du réseau GAB/FRAB. Les engrains verts. [en ligne]. 2010. p. 2. Disponible sur : [http://www.agrobio-bretagne.org/wp-content/uploads/2010/09/engrais\\_vert.pdf](http://www.agrobio-bretagne.org/wp-content/uploads/2010/09/engrais_vert.pdf) [Consulté le 06 septembre 2018].

- REUVENI Reuven, RAVIV Michael, KRASNOVSKY Arkady, FREIMAN Lilya, MEDINA Shlomit, BAR Anat, ORION Daniel. Compost induces protection against Fusarium oxysporum in sweet basil. *Crop Protection*, [en ligne]. 2002, Vol. 21, n° 7, pp. 583-587. Disponible sur : 10.1016/S0261-2194(01)00149-1 ISSN 02612194. [Consulté le 30 avril 2018].
- SALDUCCI Xavier, CELESTA-LAB. Formation Ecotechnologie. 19/03/2012. [en ligne]. p. 12. Disponible sur : [http://www.compostage-paca.fr/wp-content/uploads/2013/10/Intervention\\_X\\_Salducci\\_Celesta-Lab-19-mars-2012.pdf](http://www.compostage-paca.fr/wp-content/uploads/2013/10/Intervention_X_Salducci_Celesta-Lab-19-mars-2012.pdf) [Consulté le 06 septembre 2018].
- SCHVARTZ C., DECROUX J., MULLER J-C. Guide de la fertilisation raisonnée : grandes cultures et prairies. [en ligne]. France Agricole Editions, 2005, p. 48. Disponible sur : [https://books.google.fr/books?id=IKhoSCre4\\_QC&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs\\_atb#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fr/books?id=IKhoSCre4_QC&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false) [Consulté le 19 avril 2018]. ISBN 9782855571201 [Consulté le 30 avril 2018].
- SEBILLOTTE M. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. [en ligne]. Cahiers Orstom, série biologie, 1974, Vol. 24, pp. 3–25. Disponible sur : [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_4/biologie/17681.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/biologie/17681.pdf) [Consulté le 30 avril 2018].
- SEBILLOTTE M. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : L. Combe et D. Picard. *Les systèmes de culture*. Versailles: Inra, 1990, pp.165-196.
- SERAIL. Dynamique des besoins en azote des cultures de plein champ par semaine ou par mois. 1998, pp. 1-2.
- SILGRAM' Martyn, SHEPHERD Mark A. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. *Advances in Agronomy*, 1999, Vol. 65, pp. 45. Disponible sur : 10.1016/S0065-2113(08)60915-3 [Consulté le 06 septembre 2018].
- SUÁREZ-ESTRELLA F, ROS M, VARGAS-GARCÍA M C, LÓPEZ M J, MORENO J. Control of xanthomonas campestris pv. vesicatoria using agroindustrial waste-based compost. *Journal of Plant Pathology*, 2014, pp. 6.
- VALÉ Matthieu, LAURENT François, MARY Bruno, JUSTES Eric, MANGIN Michel. Effets de la température et de l'humidité du sol. [en ligne]. *Perspectives agricoles*, 2007, n° 331, pp. 46. Disponible sur : <https://www.perspectives->

agricoles.com/file/galleryelement/pj/13/98/c9/b4/331\_241804466790338988.pdf [Consulté le 13 août 2018].

VIAN J-F. Ecologie microbienne des sols. Lyon, 2015

WALTERS D.R., BINGHAM I.J. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology*, [en ligne]. 2007, Vol. 151, n° 3, pp. 307-324. Disponible sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7348.2007.00176.x> [Consulté le 4 mai 2018]. ISSN 0003-4746.

WELLS M. S., REBERG-HORTON S. C., SMITH A. N., GROSSMAN J. M. The Reduction of Plant-Available Nitrogen by Cover Crop Mulches and Subsequent Effects on Soybean Performance and Weed Interference. *Agronomy Journal*, [en ligne]. 2013, Vol. 105, n° 2, pp. 539. Disponible sur : 10.2134/agronj2012.0396 ISSN 0002-1962. [Consulté le 06 septembre 2018].

## IX. Table des illustrations

Seules les figures non issues de productions personnelles sont citées ici :

Figure 2 : Agro transfert. Gestion de l'azote en agriculture biologique. 2016. p 2. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2017/01/gestion-de-lazote.pdf> [Consulté le 26 juillet 2018]

Figure 3 : COMIFER. Lessivages des nitrates en systèmes de cultures annuelles. Diagnostic du risque et propositions de gestion de l'interculture. COMIFER Ed, 2002, p.41 [en ligne]. Disponible sur : [http://www.comifer.asso.fr/images/fichiers/Comifer\\_2002\\_interculture.pdf](http://www.comifer.asso.fr/images/fichiers/Comifer_2002_interculture.pdf) [Consulté le 15 août 2018]

Figure 4 : Google maps [en ligne]. Disponible sur : <https://www.google.fr/maps> [Consulté le 7 mai 2018].

Figure 27 : Agrobio35. Diagramme bien-être au travail.

## Annexes

### Table des annexes

Annexe 1 : Les moyens financiers d'Agrobio35 en 2017 (Agrobio 35, 2017)

Annexe 2 : Schéma des principales interactions entre composantes d'un sol et principales propriétés associées (d'après Vian, 2017)

Annexe 3 : Besoins NPK des principales cultures maraîchères et résidus azotés (FRAB, 2015)

Annexe 4 : Tableau de synthèse de l'influence de la fertilisation azotée sur la sensibilité aux bio agresseurs en cultures légumières

Annexe 5 : Caractéristiques des produits commerciaux utilisés par les maraîchers du groupe

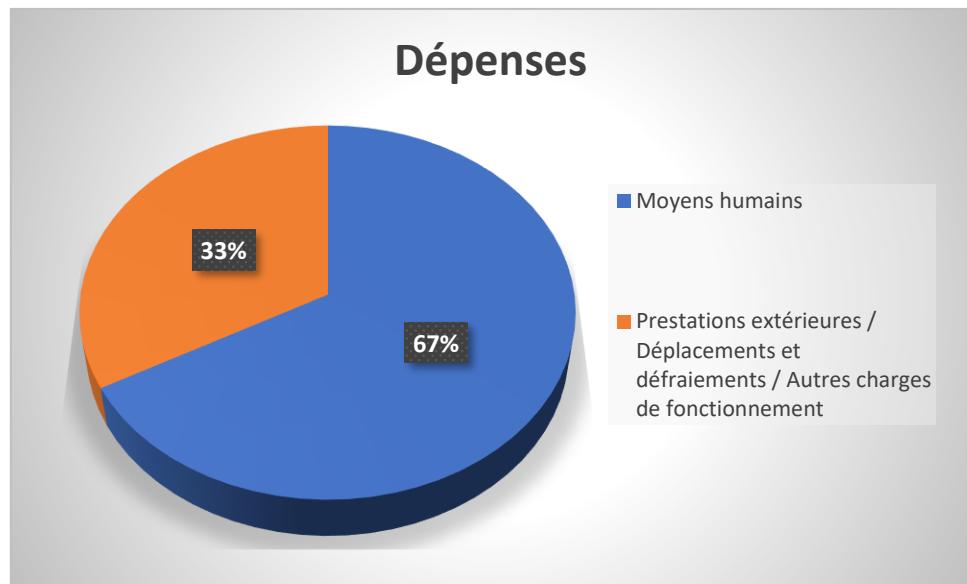
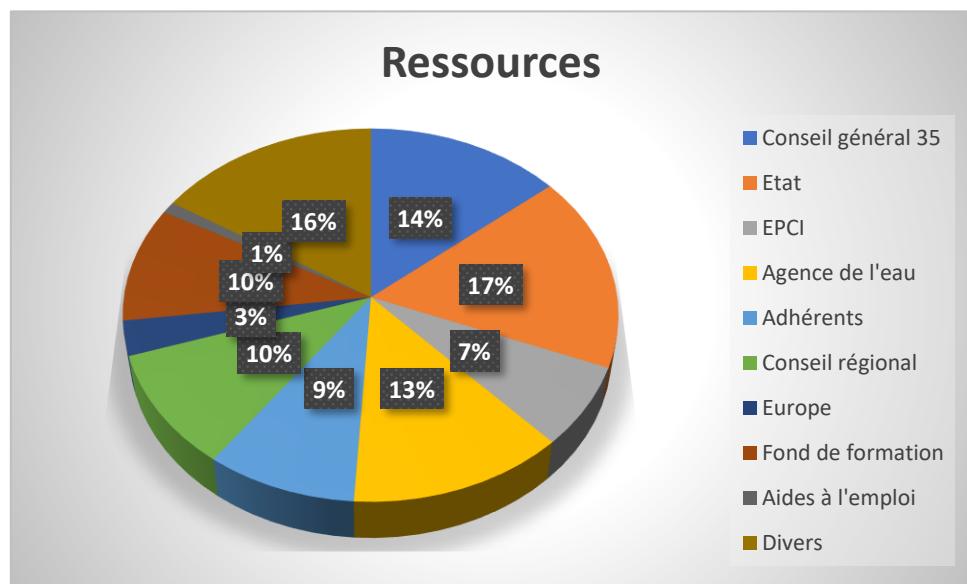
Annexe 6 : Fiche protocole test Nitrachek® (Agrobio35, 2016)

Annexe 7 : Coefficient correcteur Nitrachek® tenant compte de l'humidité du sol

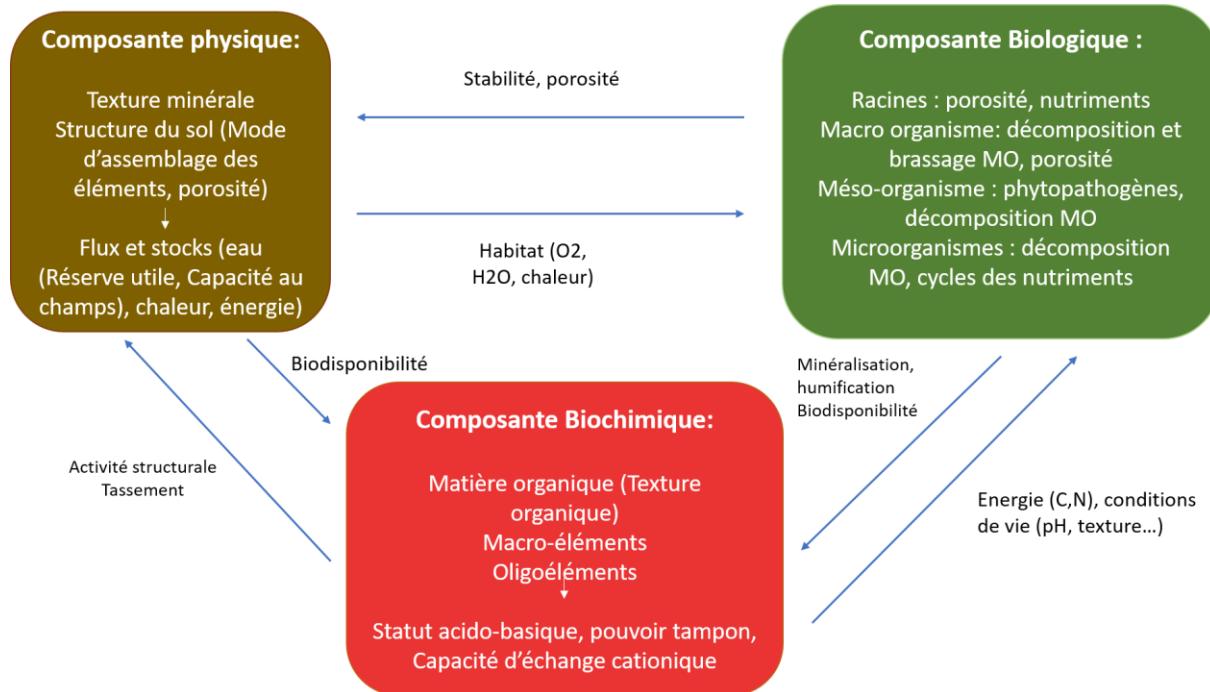
Annexe 8 : Pourcentage des fractions azotées dans différents effluents d'élevage (Chambre d'agriculture Région Nord Pas de Calais, 2013)

Annexe 9 : Analyses des courbes de minéralisation de l'azote et conseils de fertilisation non présents dans la partie résultat

## Annexe 1 : Les moyens financiers d'Agrobio35 en 2017 (Agrobio 35, 2017)



Annexe 2 : Schéma des principales interactions entre composantes d'un sol et principales propriétés associées (d'après Vian, 2017)



Annexe 3 : Besoins NPK des principales cultures maraîchères et résidus azotés (FRAB, 2015)

	Azote	Phosphore	Potasse	Résidus en U d'N /ha
<b>Exigences</b>	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>	
<b>Tomate</b>	300	150	600	50
<b>Poivron</b>	250	140	500	50
<b>Concombre</b>	250	100	400	50
<b>Céleri rave</b>	210	150	240	50
<b>Céleri branche</b>	190	140	500	100
<b>Chou de Bruxelles</b>	210	180	200	100
<b>Choux chinois</b>	200	120	250	25
<b>Chou-fleur</b>	200	100	300	100
<b>Chou pommé</b>	200	100	300	100
<b>Coqueret du Pérou</b>	200	100	300	25
<b>Blette</b>	200	120	300	25

<b>Aubergine</b>	180	120	250	50
<b>Radis noir</b>	150	100	200	25
<b>Radis long</b>	150	100	200	25
	<b>Forte</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Forte</b>	
<b>Betterave potagère</b>	140	100	300	50
<b>Poireau</b>	200	60	300	25
<b>Pomme de terre</b>	150	80	250	50
<b>Pomme de terre primeur</b>	120	80	200	50
<b>Chou brocolis</b>	150	70	250	50
<b>Asperge</b>	150	60	200	50
<b>Artichaut Camus Année 1</b>	120	25	210	100
<b>Artichaut Camus Année 2</b>	150	30	270	100
<b>Artichaut Camus Année 3</b>	165	33	300	100
<b>Chicorée</b>	120	50	200	25
<b>Cerfeuil tubéreux</b>	140	60	350	25
<b>Carotte</b>	140	80	350	50
	<b>Moyenne</b>	<b>Forte</b>	<b>Forte</b>	
<b>Rhubarbe</b>	100	150	250	50
	<b>Moyenne</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Forte</b>	
<b>Epinard</b>	100	70	310	50
<b>Laitue</b>	110	60	230	25
<b>Melon</b>	120	120	200	50
	<b>Moyenne</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Moyenne</b>	
<b>Echalote</b>	100	100	180	25
<b>Ail</b>	100	100	200	25
<b>Persil</b>	100	100	200	25
<b>Mais doux</b>	120	100	120	25
<b>Oignon</b>	120	80	150	25
<b>Oignon blanc</b>	120	80	150	25
<b>Persil racine</b>	80	100	180	25
<b>Pois</b>	40	100	180	50
<b>Fève</b>	50	100	150	50
<b>Crosne du japon</b>	90	90	180	25

<b>Aneth</b>	60	100	100	25
<b>Basilic</b>	100	100	100	25
<b>Potiron</b>	100	60	150	50
<b>Oseille</b>	130	50	180	25
<b>Fenouil</b>	105	70	120	25
<b>Navet</b>	90	30	120	50
<b>Radis rose</b>	100	50	100	25
<b>Mâche</b>	50	30	80	25
<b>Haricot</b>	40	50	100	50
<b>Endive</b>	50	50	150	25
<b>Pastèque</b>	100	50	120	50
<b>Pissenlit</b>	60	60	120	25
<b>Pourpier</b>	50	30	80	25
<b>Romarin</b>	80	80	100	25
<b>Thym</b>	80	60	120	25
<b>Topinambour</b>	80	60	60	25
<b>Ciboulette</b>	120	50	150	25
<b>Coriandre</b>	80	80	120	25
<b>Cornichon</b>	90	80	120	50
<b>Courgette</b>	100	50	120	50
<b>Estragon</b>	75	60	120	25
<b>Fraisier</b>	65	30	120	25

Annexe 4 : Tableau de synthèse de l'influence de la fertilisation azotée sur la sensibilité aux bio agresseurs en cultures légumières

La lettre A signifie une augmentation observée de la pression du bioagresseur considéré lors de l'augmentation de la fertilisation azotée.

A l'inverse, la lettre D correspond à une diminution observée de cette pression avec une augmentation de la fertilisation azotée.

Un A ou un D présent dans la colonne N correspond à un effet observé en lien avec l'augmentation de la fertilisation azoté, sans que le lien avec la forme d'azote n'ai pu être identifié. Un A ou un D présent dans les colonnes suivantes correspond à un effet de la forme d'azote utilisée (ammonium ou nitrate) sur le bioagresseur en question.

Hôte	Maladie	Agent pathogène	N (non spécifié)	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Source
Fraise	Pourriture racinaire noire	<i>Rhizoctonia fragariae</i>		D	A	Elmer et LaMondia, 1999
Laitue	Pourritures basales	<i>Rhizoctonia solani</i>	A			Raynal et al., 2014
Pois	Pourriture racinaire	<i>Rhizoctonia solani</i>		A	D	Papavizas et Davey a et b, 1960 ; Papavizas, 1963 ; Papavizas, 1969
Pomme de terre	Pourriture	<i>Rhizoctonia solani</i>		A	D	Huber et Watson, 1970 ; Sanford, 1947
Chou	Hernie des crucifères	<i>Plasmodiophora brassicae</i>	D			Klasse, 1996
Tomate	Pourriture racinaire	<i>Phytophtora parasitica</i>	A			Workneh et al., 1993
Carotte	Pourriture racinaire	<i>Sclerotinia rolfsii</i>	D			Punja et al. 1986
Laitue	Sclérotiniose	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Sclerotinia minor</i>	A		A	Raynal et al., 2014 ; Navarrete et al., 2010
Tomate	Maladie des racines liégeuses	<i>Pyrenopeziza lycopersici</i>	A			Workneh et al., 1993 ; Workneh et van Bruggen, 1994
Chou	Fusariose	<i>Fusarium</i>			D	Walker, 1946

<b>Pois</b>	Fusariose	<i>Fusarium dont Fusarium oxysporum</i>		A	D	Huber, 1966 ; Huber et Watson, 1970 ; Huber et Watson, 1972, Huber et Watson, 1965 ; Maurer, 1962 ; Snyder et al., 1959 ; Weinke, 1962
<b>Tomate</b>	Fusariose	<i>Fusarium dont Fusarium oxysporum</i>		A	D	Duffy and Défago 1999 ; Walker et al., 1954
<b>Asperge</b>	Fusariose	<i>Fusarium oxysporum, F. monoliforme</i>		A	D	Elmer, 1989
<b>Radis</b>	Fusariose	<i>Fusarium oxysporum</i>			D	Trillas-Gay et al., 1986
<b>Tomate</b>	Anthracnose	<i>Colletotrichum</i>		D	A	Williams, 1965
<b>Aubergine</b>	Verticilliose	<i>Verticillium dahliae</i>		D	A	Elmer, 2000
<b>Pomme de terre</b>	Verticilliose	<i>Verticillium</i>		D	A	Easton, 1964 ; Guthrie, 1960 Huber et Watson, 1970 ; Huber et Watson, 1972, Huber et Watson, 1965 ; Watson, 1966 ; Wilhelm 1950 ; Wilhelm 1951
<b>Tomate</b>	Verticilliose	<i>Verticillium</i>		D	A	Huber et Watson, 1970 ; Huber et Watson, 1972, Huber et Watson, 1965 ; Wilhelm 1950 ; Wilhelm 1951
<b>Fève</b>	Pourriture grise	<i>Botrytis cinerea</i>		A	D	Blakeman, 1971 ; Sol, 1967
<b>Tomate</b>	Pourriture grise	<i>Botrytis cinerea</i>	D		D	Raynal et al., 2014 ; F. Lecompte, 2010 ; Hoffland, 1999
<b>Tomate</b>	Oidium	Oidium neolyopersici	A			Raynal et al., 2014
<b>Pomme de terre</b>	Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>	A			Juárez et al., 2000 ; Mittelstraß et al. 2006
<b>Oignon</b>	Mildiou	<i>Peronospora destructor</i>	A			Develash et Sugha, 1997
<b>Tomate</b>	Pourriture	<i>Pseudomonas</i>		D	A	Gallegly et Walker, 1949

<b>Brocoli</b>	Pourriture molle	<i>Pseudomonas marginalis</i>	A			Canaday and Wyatt, 1992
<b>Laitue</b>	Maladie des racines li��geuses	<i>Rhizomonas suberifaciens</i>	A			Van Bruggen et al., 1990
<b>Tomate</b>	Chancre bactérien	<i>Corynebacterium</i>			A	Walker et al., 1954
<b>Pomme de terre</b>	Pourriture annulaire	<i>Corynebacterium</i>			A	Gallegly et Walker, 1949 ; Walker et al., 1954
<b>Pomme de terre</b>	Gèle	<i>Streptomyces</i>		D	A	Chase et al., 1968 ; Huber et Watson, 1970 ; Huber et Watson, 1972, Huber et Watson, 1965 ; Lapwood et Dyson, 1968 ; Potter et al. 1971 ; Watson, 1966
<b>Pomme de terre</b>	Alternariose	<i>Alternaria solani</i>	D			MacKenzie 1981 ; Mittelstra�� et al. 2006
<b>Pomme de terre</b>	Virus	virus y de la pomme de terre virus x de la pomme de terre		D		Bawden et Kassanis a et b, 1950
<b>Fraise</b>	Nématode des racines	<i>Pratylenchus penetrans</i>		D	A	Elmer et LaMondia, 1999
<b>Tomate</b>	Aleurodes, acariens	Aleurode, acarien	A			Raynal et al., 2014 ; Jauset et al., 1998
<b>Fraisier</b>	Acarien	T��tranyque tisserand	A			Alizade et al., 2016
<b>Laitue</b>	Pucerons	Puceron de la laitue	A			Raynal et al., 2014
<b>Radis</b>	Pucerons	Puceron du chou	A			Megaladevi, 2018
<b>Pomme de terre</b>	Doryphore	Doryphore	A		A	Boiteau et al., 2008 ; Hunt et al., 1992

<b>Choux</b>	Piérides	Piéride de la rave	A			Chen et al, 2004 ; Slansky and Feeny 1977; Myers 1985
<b>Oignon</b>	Thrips	Thrips du tabac et de l'oignon		A		Malik et al., 2009

## Annexe 5 : Caractéristiques des produits commerciaux utilisés par les maraîchers du groupe

### Arnaud et Thierry :

Bactériosol® concentré UAB, amendement organique constitué de matières végétales compostés et non compostées, minéraux et mélasse

(N : 2,3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 0,5%, K<sub>2</sub>O : 2%) C/N de 12

Ne pas enfouir au-delà de 5 cm, préconisation de 300 à 600 kg/ha (Sobac)

### Philippe :

Profumus®, engrais organique NPK composé de fumier et de fientes de volailles

Matière sèche 75% Matière organique : 53%

Azote total (N) 3.1%, Azote (N) organique 2.9%, Phosphore (P2O5) 3%, Potasse (K2O) 2.6%, Soufre (SO<sub>3</sub>) 1%, Calcium (CaO) 6%

Entretien de 1 T/ha à 3T/ha Redressement de 3T/ha à 5T/ha (CAMN, 2013)

### Charlène et Erwann :

Bochevo®, engrais organique d'origine animale (fumiers et déjections de bovins, chevaux, volailles) et végétale, épandage en surface

Azote (N) 3%, Azote (N) organique, 2.5% Phosphore (P2O5) 2,5%, Potasse (K2O) 2.8%, Soufre (SO<sub>3</sub>) 2%, oxyde de magnésium 1% C/N : 9

Dosage : 2 à 7 t/ha selon les cultures et l'état du sol (Hortalis)

### Charlène :

Compost Algo-Forestier®, amendement organique constitué de végétaux broyés, fumier, écorces de feuillus et algues marines.

Matière sèche : 62 - Matière Organique : 20 - Azote total (N) : 1.0 - Azote organique (non uréique) 0.9 - Phosphore (P2O5) : 0.6 - Potassium (K2O5) : 1.4 - Calcium (CaO) : 4 - Magnésium (MgO) : 0.6 - C/N 12 (Jardins animés)

### Guillaume :

Compost de déchet vert de la ville de Rennes, amendement organique

Matière sèche : 64 - Matière Organique : 24 Azote total (N) : 0.8 - Phosphore (P2O5) : 0.33 - Potassium (K2O5) : 0.47 - Calcium (CaO) : 1.48 - Magnésium (MgO) : 0.34 - C/N 15 (SAS Laboratoire, 2013)



## Fiche protocole test NITRACHEK

### MATERIEL NECESSAIRE

-Bandelettes Nitrachek (à conserver dans un endroit frais, dans un récipient sec et hermétique)

-Filtres

-Eau déminéralisée avec KCL : la concentration est de 2g/L. Pour une bouteille de 1.5L mettre 3g.

-Deux récipients de même poids à vide du type « pot à confiture » avec couvercle hermétique

-Une balance type balance de cuisine (précision au g)

-Une tarière de prélèvement de sol

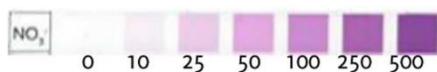
-Un seau

Tous les contenants (bouteille, pots, seau, tarière, etc..) doivent être PROPRES préalablement lavés et secs. Le filtre est à usage unique.

### METHODE

1. Sortir la boite de bandelettes du réfrigérateur
2. Choisir 4 points de prélèvement (piquets) répartis sur toute la parcelle choisie pour les suivis en privilégiant des zones homogènes (sol). Tous les prélèvements seront effectués au même endroit.
3. A l'aide de la tarière prélever l'échantillon de sol sur l'horizon 0-30cms

4. Les 4 échantillons de sol prélevés sont mis dans le seau
5. Bien mélanger à la main les quatre échantillons en veillant à émettre le plus possible si présence de mottes compactes.
6. Quand le mélange de terre est bien homogénéisé, prendre une quantité de sol (environ 100g), la mettre dans le pot (A) et le peser. Noter ce poids
7. Dans le second pot (B) verser de l'eau+KCL jusqu'à obtenir exactement le même poids que le pot (A)
8. Verser l'eau du pot (B) dans le pot (A) et fermer le pot (A) avec un couvercle
9. Selon le type de sol agitez de manière continue
  - 2 mn en sol sableux
  - 2 fois 2mn en sol limoneux
  - 3 fois 2 mn en sol argileux
10. Retirez le couvercle du pot et poser le filtre de manière à ce que le haut du filtre ne trempe pas dans l'eau et affleure les bords du pot. l'eau remonte en quelques minutes
11. Quand suffisamment d'eau est remonté, plongez l'extrémité de la bandelette nitrachek dans ce volume pendant 2secondes.
12. Retirer la bandelette de l'eau et l'agiter doucement pour éliminer le surplus d'eau. Baisser sécher 1 mn environ dans les doigts ... ne pas poser la bandelette
13. Lecture
  - a. avec le boitier placer la zone réactive de la bandelette dans le boitier comme indiqué sur photo et noter le chiffre inscrit sur le boitier. Affecter le coefficient correcteur en fonction de l'humidité du sol (voir Notice)
  - b. lecture optique : comparer la couleur de la zone réactive de la bandelette avec la gamme suivante



Annexe 7 : Coefficient correcteur Nitrachek® tenant compte de l'humidité du sol

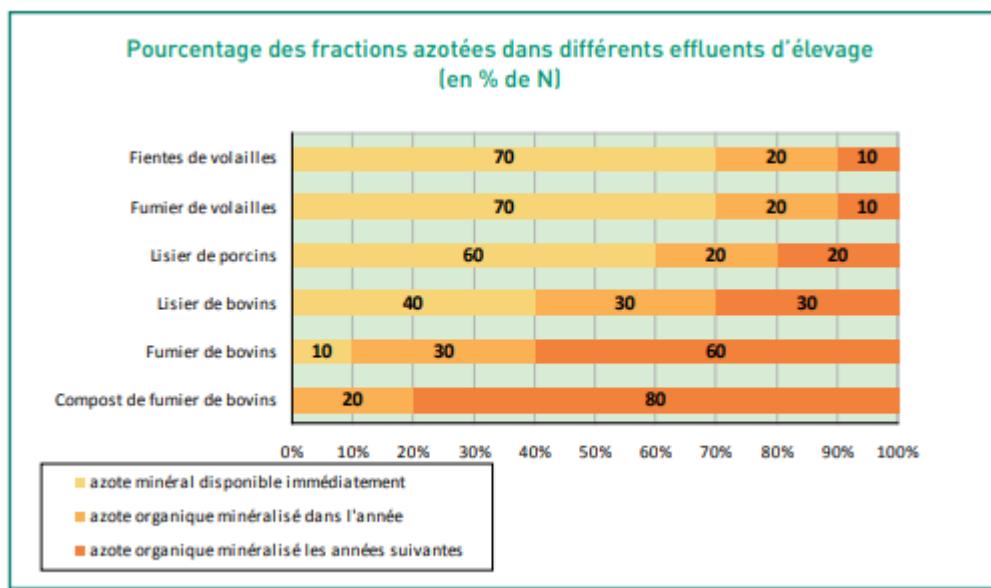
8 - TABLEAU

Type de sol épaisseur horizon ↓ ↓	Eau du sol : → Aspect du sol : → trempe	Excès	Excès	Ressuyé	Ressuyé	Ressuyé	Asséché	Asséché	Asséché	
		collant	collant	collant	plastique	plastique	s'éffrite	s'éffrite	s'éffrite	
Sol argileux horizon de 30 cm	% humidité Coefficient	35 2,11	34 2,06	33 2,01	32 1,97	30 1,93	29 1,85	28 1,81	27 1,77	26 1,73
Sol argileux horizon de 15 cm	% humidité Coefficient	35 1,06	34 1,03	33 1	32 0,98	30 0,96	29 0,92	28 0,9	27 0,88	26 0,86
Sol limoneux horizon de 30 cm	% humidité Coefficient	25 1,69	24 1,66	23 1,62	21 1,56	20 1,52	17 1,43	16 1,40	15 1,37	12 1,29
Sol limoneux horizon de 15 cm	% humidité Coefficient	25 0,84	24 0,83	23 0,81	21 0,78	20 0,76	17 0,71	16 0,7	15 0,68	12 0,64
Sol sableux horizon de 30 cm	% humidité Coefficient	14 1,35	11 1,27	10 1,24	10 1,23	9 1,22	9 1,2	8 1,19	8 1,18	8 1,17
Sol sableux horizon de 15 cm	% humidité Coefficient	14 0,67	11 0,63	10 0,62	10 0,61	9 0,61	9 0,6	8 0,59	8 0,59	8 0,58

Exemple : sol limoneux juste ressuyé, horizon de 30 cm :  $N = C \times 1,56$

une lecture de 40 au Nitrachek donne  $N = 40 \times 1,56 = 49$  unités dans le sol

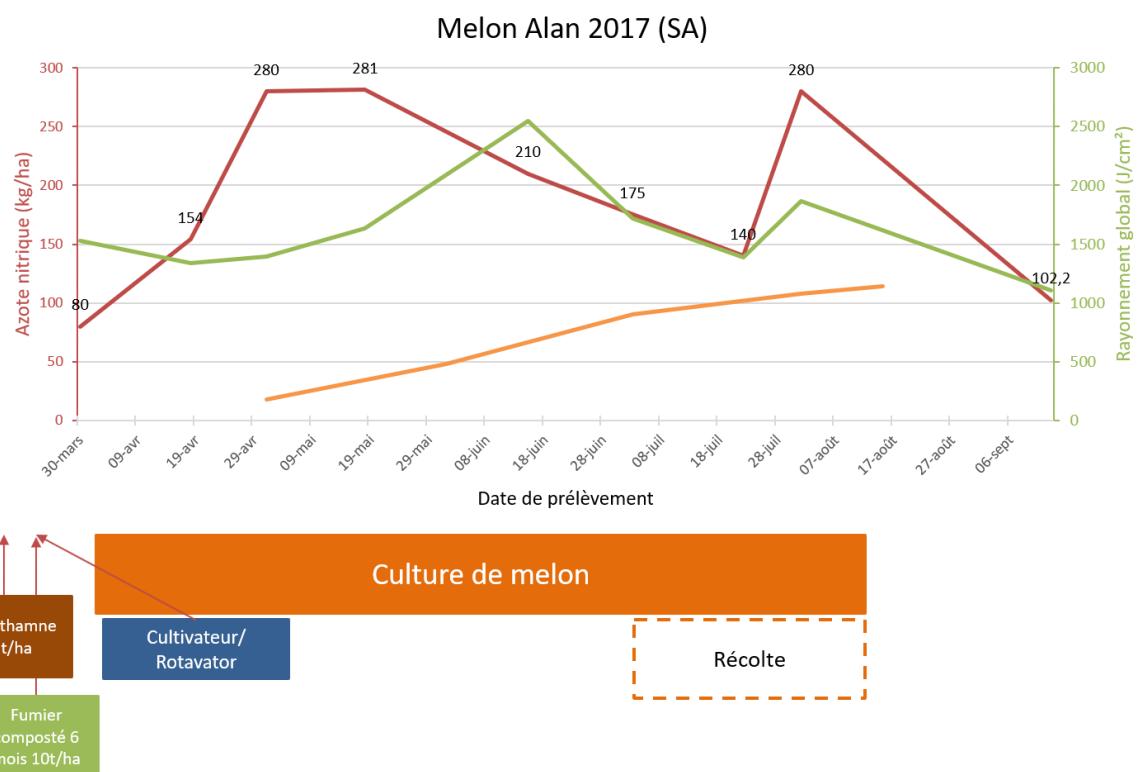
Annexe 8 : Pourcentage des fractions azotées dans différents effluents d'élevage (Chambre d'agriculture Région Nord Pas de Calais, 2013)



Annexe 9 : Analyse des courbes de minéralisation et conseils de fertilisation non présents dans le corps du mémoire

### Alan (SDC SA)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 120 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 6,5 \times 10 \times 0,2 = 13 \text{ kgN/ha}$  (COMIFER, 2013)

On constate une augmentation des taux de nitrates de l'horizon 0-30 cm du sol jusqu'au 1<sup>er</sup> mai, évoluant d'une teneur initiale de 80 kg d'azote nitrique par ha à 280 kg/ha. On observe ensuite une diminution du taux de nitrate dans le sol à partir du 18 mai et jusqu'au 22 juillet, jusqu'à 140 kg/ha. S'en suit un pic se manifestant par un passage à 280 kg/ha et un retour à 102 kg/ha.

Un épandage d'1t/ha de lithothamne a été réalisé mi-mars, le 20 mars un apport de 10t/ha de fumier composté 6 mois bâché a été réalisé. Un apport de chaulage rapproché de l'épandage de MO peut avoir pour conséquence une dégradation chimique de la MO conduisant à une

minéralisation rapide et une augmentation des taux de nitrate (action chimique et condition de vie des micro-organismes), pouvant participer à la première augmentation observée.

Un autre facteur explicatif de cette hausse est le travail du sol qui va fragmenter, créer une porosité favorable aux populations microbiennes et au réchauffement du sol. Le fait d'être sous serre renforce d'autant plus cet effet température. Les MO du sol, notamment celles apportées par le fumier composté apporté, vont aussi être réparties au sein de l'horizon travaillé. Il faut cependant considérer que l'apport azote direct du fumier est faible, 13 kg/ha selon notre calcul. Même si on choisit un KeqN plus important, (0,4 grand maximum d'après annexe 8), on obtient seulement  $X_a=26$  kg/ha. L'apport d'azote le plus important reste la minéralisation de la MO apportée les années précédentes et de l'humus du sol.

La diminution qui s'en suit traduit des besoins plus importants de la culture de melon à cette période : développement végétatif important, floraison puis nouaison requièrent des mobilisations importantes en azote. (I.A.C, 2000)

Cette diminution d'azote nitrique est aussi accompagnée par une diminution du rayonnement après le 15 juin, pouvant expliquer une activité minéralisatrice et nitrificatrice moins importante. Les taux ne descendant pas en dessous de 140 unités pendant le cycle du melon, la quantité d'azote disponible pour la plante reste élevée, on peut supposer que la plante était en situation de consommation de luxe vis-à-vis de cet élément azoté.

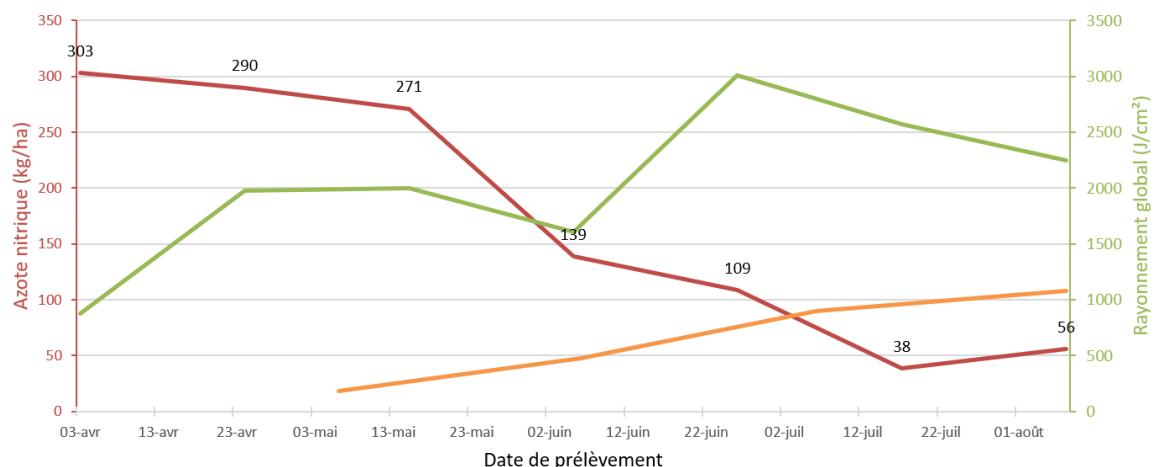
La ré-augmentation des taux de nitrate le 1<sup>er</sup> août est aussi accompagnée par une légère hausse du rayonnement. Cette hausse de l'azote nitrique peut aussi s'expliquer par le fait qu'à cette date, la récolte est sérieusement entamée donc une majorité des fruits est déjà arrivé à maturité. La phase de grossissement des fruits va moins mobiliser d'azote, limitant d'autant plus les besoins.

Enfin, les valeurs entre le 15 juin et le 1<sup>er</sup> août ont été réalisées à partir d'une estimation visuelle et non pas du réflectomètre Nitratech®, la précision de la valeur est diminuée. Ainsi, ce pic obtenu le 1<sup>er</sup> août a pu être surestimé.

2018

Le producteur a souhaité se concentrer sur sa culture de melon. Ce n'est donc pas la parcelle suivie en 2017 qui a été suivie en 2018.

### Melon Alan 2018 (SA)



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 120 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 6,5 * 8 * 0,2 = 10,4$  kgN/ha (COMIFER, 2013)

Début avril 2018, on retrouve des valeurs hautes proches de celles observées en mai en 2017 sur l'autre parcelle, c'est-à-dire des valeurs proches de 300 kg d'azote nitrique par ha. On observe ensuite une diminution importante des taux de nitrates entre le 15 mai et le 17 juillet pour atteindre 38 kg/ha. Cette importante diminution correspond à la même période que la baisse observée en 2017. Cette chute des taux représente 230 unités perdues entre mai et juillet. Les taux expriment une légère tendance à la hausse sur le dernier prélèvement.

Les valeurs hautes des taux de nitrates sont observées dès la première mesure, soit avant que le fumier soit apporté. Cependant, le producteur a réalisé un broyage de sa culture précédente de mâche montée en graines. La minéralisation rapide de ces résidus verts peut en partie expliquer ce taux élevé.

En 2018, le producteur a souhaité apporter moins de fumier qu'en 2017 dans l'idée que sa pression de pucerons rencontrée en 2017 était liée à un excès d'azote. 8t/ha ont été apportées en 2018 au lieu de 10t/ha. Cependant, le fumier utilisé cette année était plus compact, moins pailleux qu'en 2017 donc sûrement plus riche.

On pourrait s'attendre, à observer une nouvelle augmentation des taux suite à l'apport des amendements calciques et organiques. Or, ce n'est pas le cas, les valeurs restent stables et

on même tendance à diminuer jusqu'à fin mai. La chute des taux s'achevant fin juillet s'explique par les mobilisations de la culture. Cette chute des taux est cette année beaucoup plus importante : 230 unités perdues sur cette période contre 140 en 2017. Ce comportement ne correspond pas avec ce qui a été observé en 2017, ni aux mobilisations de la culture. Les taux obtenus sur les deux derniers prélèvements correspondent à taux considéré comme faibles à moyens. (APREL, 2005)

On peut s'attendre à une ré-augmentation des taux à l'issu des prochains prélèvements, lorsque la culture sera récoltée. La tendance étant amorcée par le dernier prélèvement réalisé. La courbe de rayonnement ne semble pas cette année, corrélée aux taux de nitrates observés.

## Conseils de fertilisation

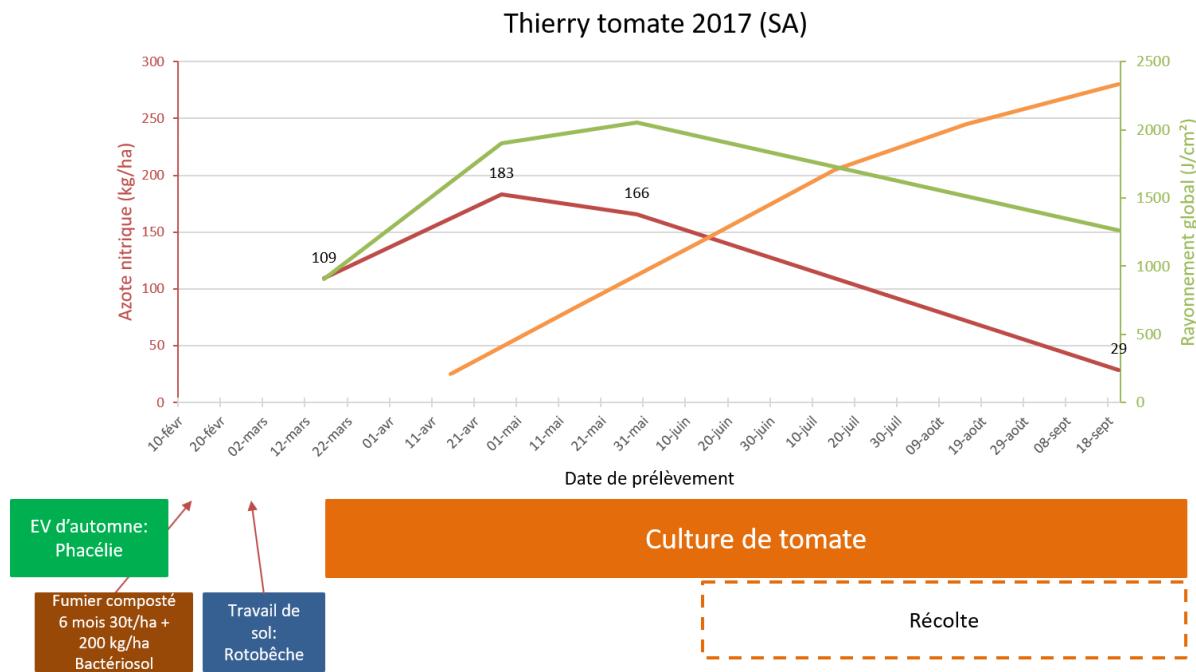
Les parcelles observées les deux années font parties du même SDC, leur historique est sensiblement le même. Cependant une différence de comportement importante a été observée au niveau des taux les deux années. Si on considère la première courbe, nous sommes tentés de formuler une préconisation de diminution de la fertilisation, la courbe de 2018 nous freine un peu dans ce conseil. Si moins de minéralisation avait été effectuée en 2018, la courbe aurait pu chuter plus vite et la culture se retrouver avec des taux faibles d'azote disponible. **Cependant la pression de pucerons évoquée dans la partie IV.B. nous incite à essayer de limiter ces taux.**



Le producteur apporte 1t/ha de lithothamne puis 10t/ha fumier de bovin composté 6 mois tous les 2 ans sur les légumes les plus exigeants de sa rotation que sont la courgette, le melon et la tomate. **On pourrait conseiller à Alan de diminuer davantage sa fertilisation sur melon en passant à 5t/ha de fumier apporté et éventuellement aussi sur courgette si on considère les taux importants observés en 2018 avant fertilisation et les besoins plus limités de la culture (100kgN/ha sur tout le cycle, Annexe 3).** En sachant qu'une modification des pratiques va impacter toute la rotation, les cultures suivantes pourront être impactées. Un suivi nitrates pourrait être intéressant à réaliser sur épinard si cette diminution est réalisée. Cela nous permettrait aussi de mieux comprendre la durée et la dynamique de minéralisation du fumier apporté

## Thierry (SDC SA)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 300 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'amendement organique :  $Xa_1=6,5*30*0,2= 39 \text{ kgN/ha}$  (COMIFER, 2013)

Effet direct du Bactériosol® négligeable :  $Xa_2=2,3\%*200*0,1= 0,46 \text{ kgN/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

Minéralisation nette de résidus de CI :

Si on considère un rendement supérieur à 3tMS/ha,  $MrCi=15 \text{ kgN/ha}$  (COMIFER, 2013)

On observe une augmentation des taux de nitrate entre le 16 mars et le 27 avril se manifestant par un passage de 109 à 183 kg d'azote nitrique par ha. S'en suit une diminution des taux importante sur la période estivale pour atteindre 29 unités le 20 septembre.

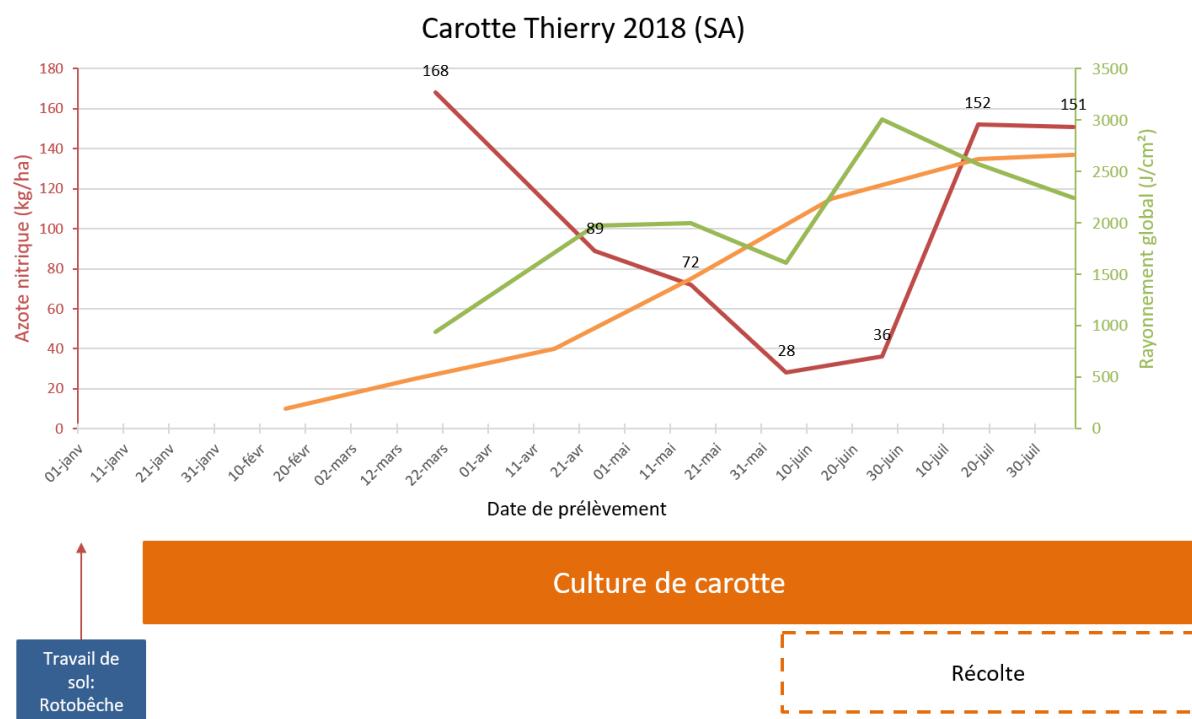
Mi-février, un EV de phacélie a été broyé, puis 30t/ha de fumier composté 6 mois ont été apportés. Un travail de sol a été réalisé début mars. Ces différentes opérations expliquent une minéralisation importante de la MO apportée se manifestant par l'augmentation observée. Comme le montrent les calculs réalisés, le rôle du Bactériosol® comme apport d'azote peut être négligé.

Les besoins azotés de la tomate s'expriment surtout à partir du deuxième mois après la plantation (plus de 50 unités d'azote prélevées par mois le 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> mois de culture

(SERAIL, 1998). Les mobilisations de cette culture exigeante expliquent en grande partie la diminution observée à partir de mai. Ce que l'on observe sur la courbe traduisant une mobilisation de la culture supérieure à ceux que le sol est capable de minéraliser.

Les 29 unités d'azote nitrique/ha mesurés sur le dernier prélèvement correspondent à des taux que l'on peut considérer comme faibles (APREL, 2005). La culture a pu être limitée par l'azote en fin de culture. Des prélèvements intermédiaires en juin, juillet aurait permis de déterminer plus précisément ce moment.

2018



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 140 kgN/ha (Annexe 3)

Pas de fertilisation, apport de 30t/ha de fumier composté 6 mois en 2017 avant culture de tomate.

On observe en 2018 un premier prélèvement affichant 168 kg d'azote nitrique par ha, les taux diminuant de manière importante jusqu'à 28 kg/ha début juin. Enfin, on assiste à une ré-augmentation très importante des taux en juillet pour atteindre environ 150 kg/ha.

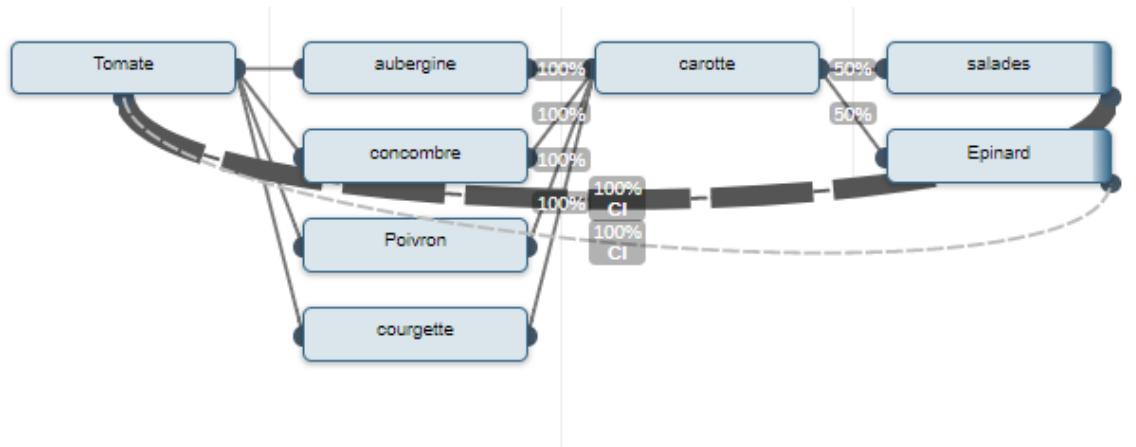
Compte tenu de la quantité importante de MO apportée en 2017, on pouvait s'attendre à une ré-augmentation des taux de nitrates une fois que les mobilisations de la culture de tomate 2017 passée. C'est effectivement ce qui s'est produit puisque l'on observe une valeur de 170 unités d'azote nitrique en mars 2018 (Valeur similaire au taux observé après le 1<sup>er</sup> mois de la

culture de tomate). Le semis des carottes a été effectué mi-janvier. La mobilisation en azote se fait essentiellement durant la tubérisation et notamment à partir du 4ème mois après le semis (20 unités puis 30 unités prélevées par mois le 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> mois) (SERAIL, 1998). Cette période correspond avec la diminution importante du taux de nitrate observée en avril/mai. La ré-augmentation des taux ensuite correspond à la période de récolte donc à l'arrêt des mobilisations de la culture, les échantillons suivants le 5 juin ont en effet été réalisés sur sol récolté. Des pratiques favorisant les micro-organismes responsables de la minéralisation et nitrification expliquent aussi cette augmentation. En effet, la récolte manuelle à la fourche a permis d'aérer et réchauffer le sol, la courbe de rayonnement va de plus dans le sens d'un accroissement des températures. Ce réchauffement a été accentué par le fait que le sol n'a plus été arrosé depuis le 15 mai. Tous ces facteurs expliquent l'augmentation importante des taux constatée.

L'activité des micro-organismes responsables de la minéralisation est défavorisée en dessous d'un certain seuil d'humidité du sol. C'est potentiellement ce qui est responsable de la stagnation des taux observée sur les deux derniers prélèvements qui est potentiellement liée à cette pratique d'arrêt de l'arrosage.

### Conseils de fertilisation

Le producteur apporte 30t/ha de fumier composté 6 mois + 200kg/ha de bactériosol + 5 kg de lithothamne avant plantation tous les 3 ans sur tomate et sème un EV tous les 3 ans (phacélie).



Malgré les 30t/ha de fumier composté apportés, soit trois fois plus que chez le producteur précédent (Alan), on n'observe pas des taux de nitrates aussi élevés.

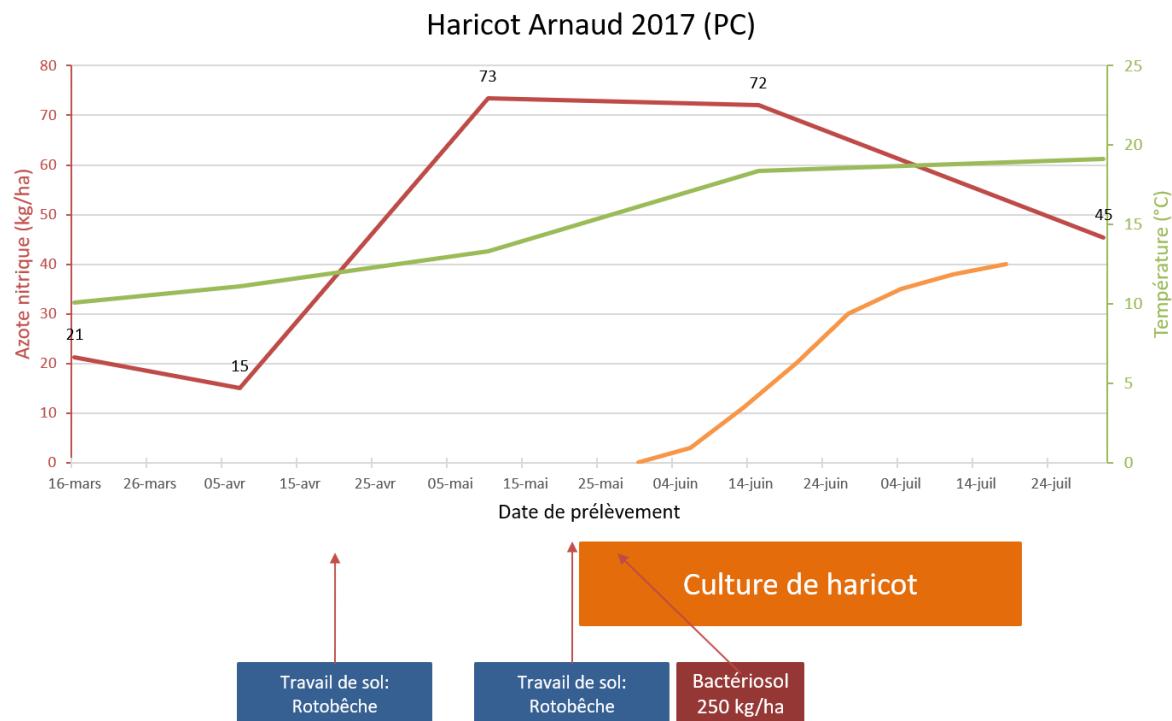
Sur les deux cultures observées, les taux de nitrates ne semblent être limitants pour les légumes seulement à la fin de leur cycle, la minéralisation permettant de retrouver des taux élevés sur carotte sans apport de fertilisation.

On pourrait éventuellement conseiller au producteur de diminuer les apports réalisés en une fois qui ne semblent pas être valorisés de façon optimale en fractionnant les apports au moins sur les deux années de culture de solanacées de la rotation plutôt que 30t/ha tous les 3 ans comme pratiqué actuellement.

Sur les cultures suivies, cette rotation n'a pas été respectée, cependant c'est la manière de travailler habituelle du maraîcher, les conseils sont donc basés sur celle-ci.

### Arnaud (SDC de PC)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 40 kgN/ha (Annexe 3)

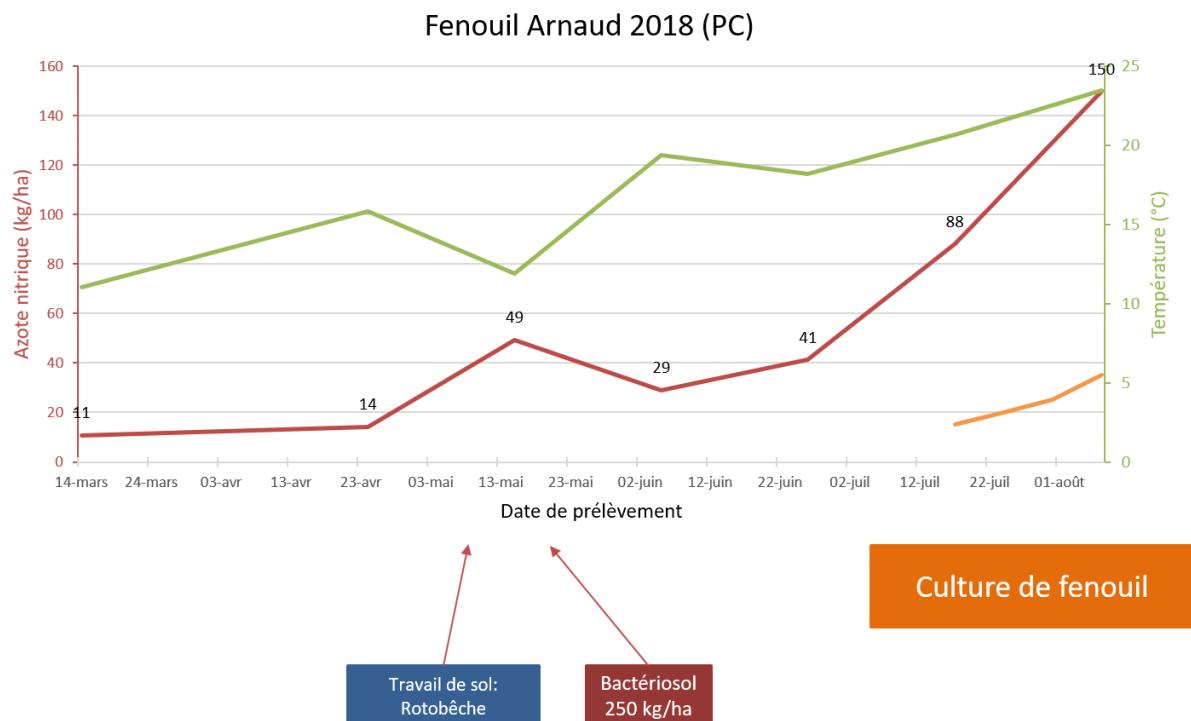
Effet direct du Bactériosol® négligeable :  $X_a=2,3\%*250*0,1= 0,58 \text{ kgN/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

On observe des teneurs en nitrates de l'horizon 0-30 cm faibles sur les deux premiers prélèvements entre 15 et 20 kg/ha en mars/début avril. Celles-ci augmentent de façon assez importante pour atteindre en mai/juin 75 unités/ha, pour redescendre à 45 unités fin juillet.

Le dernier apport de MO conséquent vient d'un EV de phacélie réalisé sur la parcelle avant la culture précédente de carotte et broyé en mars 2016. Les taux de nitrate assez faibles sur les premiers prélèvements s'expliquent par les faibles apports de MO au niveau de l'historique, des températures relativement fraîches (autour de 9°C en février et mars). De plus, 290 mm de pluie sont tombés entre novembre 2016 et février 2017 qui représenterait une lixiviation

potentielle représentant jusqu'à 60% de pertes de l'horizon 0-30cm (figure 3). Le premier travail de sol, réalisé le 20 avril, ainsi que le réchauffement du sol probable traduit par les températures, expliquent en grande partie l'augmentation observée des taux de nitrate. L'amendement organique apporté (Bactériosol®) ne participe quasiment pas à cette minéralisation, c'est la minéralisation des MO humifiées du sol qui explique en grande partie cette augmentation. 110 mm de pluie sont tombés entre fin avril et fin mai, ce qui peut expliquer la stagnation observée entre les deux prélèvements de mai/juin. La culture de haricot est une culture peu exigeante en azote, elle mobilise environ 40 unités d'azote sur l'ensemble de son cycle. Cette mobilisation de nitrate par la culture s'observe sur la courbe entre les deux derniers prélèvements. Les taux de nitrates dans le sol sont moyens peu après la fin de la culture, cependant le haricot n'a probablement pas souffert de limitation compte tenu de sa capacité à fixer l'azote atmosphérique.

2018



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 140 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct du Bactériosol® négligeable :  $X_a = 2,3\% * 250 * 0,1 = 0,58 \text{ kgN/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

On observe un taux de nitrates représentant 10 kg d'azote nitrique par ha mi-mars qui va rester stable jusqu'à fin avril. Un très léger pic de 49 kgN/ha est observé le 15 mai. Les teneurs en

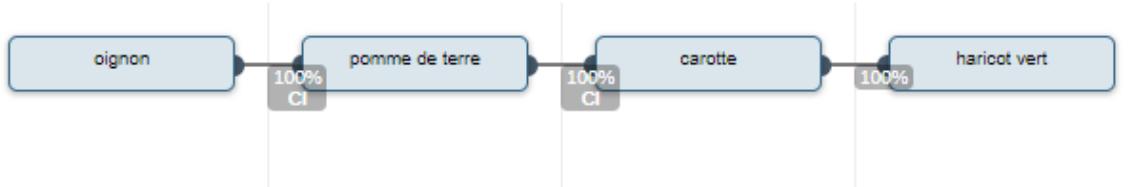
nitrates augmentent ensuite pour passer de 29 kg/ha début juin à 150 unités sur le dernier prélèvement réalisé en août.

La baisse du taux de nitrate pendant l'hiver s'explique par une lixiviation du sol qui est resté non couvert. En effet, 320 mm de pluie sont tombés entre novembre 2017 et mars 2018 représentant une perte potentielle de plus de 70% de l'azote nitrique de l'horizon 0-30cm. Les taux restent faibles en mars-avril, traduisant une minéralisation peu importante dans ce sol froid, non travaillé. Deux passages de rotobêche expliquent l'augmentation constatée entre le 24 avril et le 15 mai. Le point du 05 juin affichant une valeur plus faible peut s'expliquer par un épisode orageux important le 03 et 04 juin, 60mm d'après le producteur. Le prélèvement était donc gorgé d'eau, cette valeur plus faible s'explique à la fois par une lixiviation des nitrates et par la moindre grande fiabilité du test nitrate qui n'est pas conçu pour mesurer des taux dans des prélèvements saturés d'eau malgré un coefficient tenant compte de l'humidité.

L'augmentation de 120 unités entre le 05 juin et le 07 août est la traduction d'une minéralisation de la MO du sol croissante avec la température, qui reste supérieure aux mobilisations de la culture. Là encore, le rôle du Bactériosol® est négligeable et cette augmentation est à imputer majoritairement à la minéralisation de l'humus. Le fenouil est une culture moyennement exigeante (mobilisation de 140 unités d'azote sur tout le cycle) dont les besoins en azote se manifestent surtout à partir de la 5<sup>ème</sup> semaine après plantation (15 unités la 5<sup>ème</sup> semaine puis 20 unités/semaine ensuite) (SERAIL, 1998). Ceci explique que les prélèvements réalisés ne permettent pas de mettre en évidence une mobilisation visible de la culture par la stagnation ou diminution des teneurs, les test nitrates ultérieurs pourraient mettre en évidence cette mobilisation. Compte tenu des taux de nitrates du sol sur le dernier prélèvement et des besoins de la culture, le fenouil devrait réaliser son cycle sans souffrir de limitation azotée.

### Conseils de fertilisation

Le producteur apporte du Bactériosol® 250 kg/ha tous les ans en cours de culture et la biomasse d'un EV tous les 2 ans (phacélie ou sarrasin), sans autres apports de MO. Nous avons vu que l'apport d'azote représenté par cet amendement commercial était très faible, le maraîcher mise donc essentiellement sur la minéralisation de la MO humifiée de son sol et les EV pour subvenir aux besoins de ces cultures.

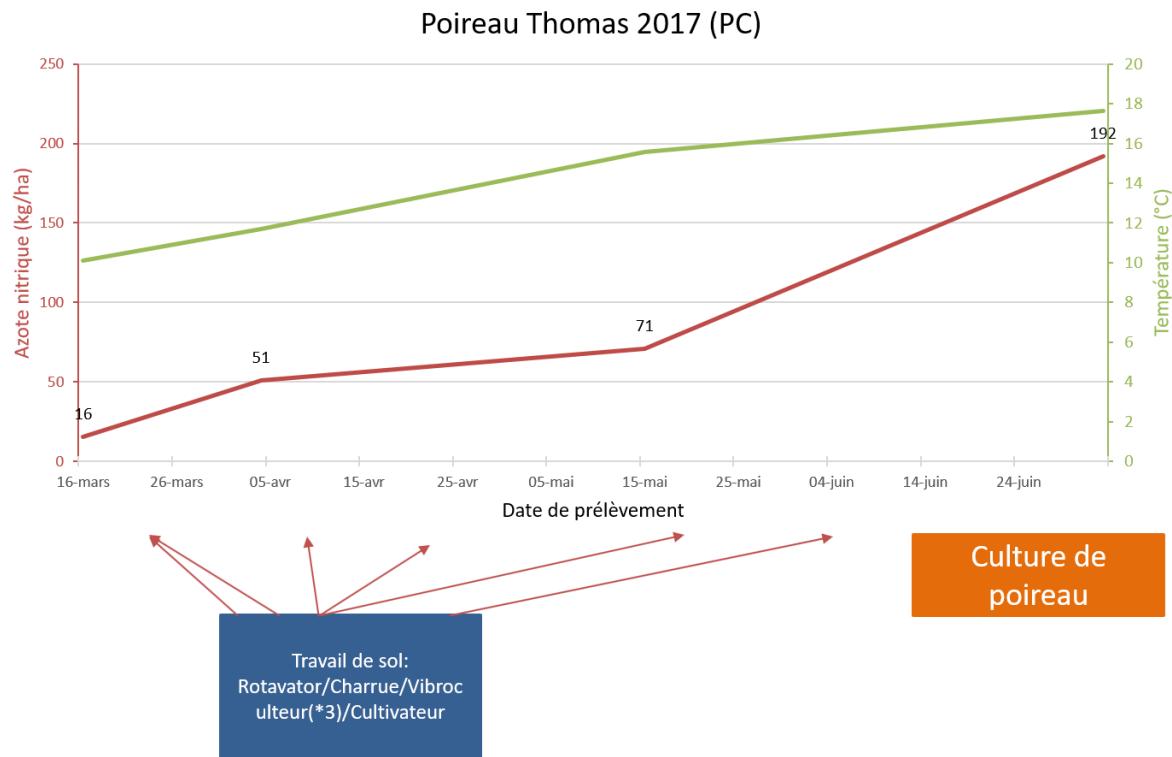


Le fenouil n'est pas présent dans sa rotation simplifiée ci-dessus qui tient compte des principales espèces cultivées par le producteur.

Compte tenu des courbes analysées, la fertilisation azotée semblait pouvoir subvenir aux besoins de ces cultures. Cependant à termes, nous conseillons un apport d'amendement organique complémentaire qui permettrait d'entretenir le taux de MO du sol donc de maintenir ses propriétés physiques et de minéralisation régulière. L'apport pourrait être fait avec du fumier de bovin composté avant pomme de terre à raison de 10 tonnes/ha. (dose assez faible mais proportionnelle aux pratiques du producteur)

### Thomas (SDC de PC)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 200 kgN/ha (Annexe 3)

Minéralisation nette de résidus de CI :

Le producteur m'a indiqué que l'EV n'a pas produit beaucoup de biomasse, si on considère un rendement de 3t/ha de MS, on a :

$$MrCi = 2,8\% * 3000 * 30\% = 25 \text{ kgN/ha (CTIFL, 2018)}$$

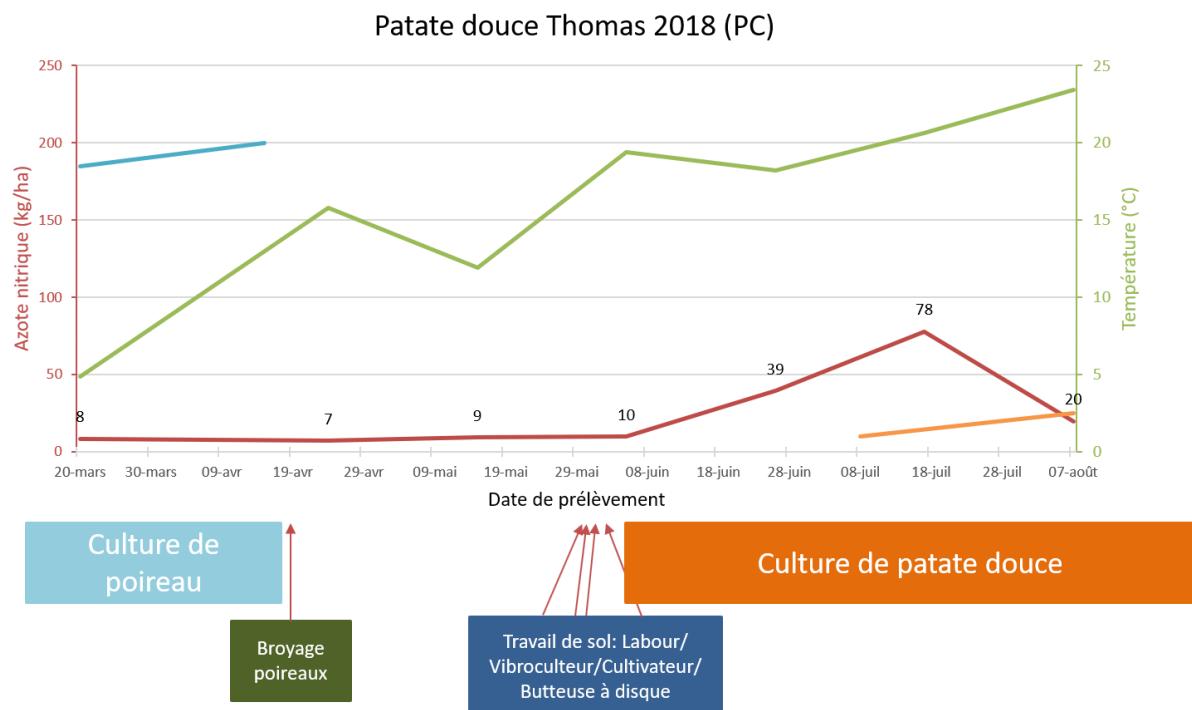
Les teneurs en nitrates du sol se manifestent ici par une augmentation tout au long des prélèvements, passant de 16 kg N/ha mi-mars à un peu moins de 200 unités fin juin.

L'historique de la parcelle est particulière, la dernière fertilisation remonte à 20t/ha de fumier de bovin frais avant une culture de pomme de terre en 2014. Au printemps 2015, un semis d'un EV (Avoine/Pois) a été laissé en place 2 ans et ne sera broyé qu'en mars 2017. Une

entreprise de travaux agricole a alors incorporé l'EV par passage de rotavator puis charrue. La minéralisation de l'EV est assez rapide, 25% de l'azote est minéralisé après 70j à 28°C (CTIFL, 2018). La présence de l'EV a sans doute limité en partie la lixiviation des nitrates mais les 290 mm de pluie tombés entre novembre 2016 et février 2017 expliquent en grande partie les taux très faibles observés à l'issu le premier prélèvement. Suite aux différents travaux de sol et à l'accroissement progressif des températures, une partie de la MO du sol va être minéralisée progressivement expliquant l'évolution des taux de nitrate observée au cours de la saison. L'augmentation de plus de 120 unités de nitrate entre le 15 mai et le 03 juillet peut être expliquée par les travaux de sol qui maximisent le contact MO/vie du sol tout en apportant aux bactéries des conditions favorables (chaleur et oxygène), qui a stimulé la minéralisation de l'humus du sol. La MO issue de l'EV qui a profité de quelques mois de pré-dégradation, a pu aussi être minéralisée de façon plus importante par la vie du sol. Cependant, la part d'azote nitrique apportée par l'EV reste minoritaire dans l'augmentation observée, elle a pu représenter au maximum 25 kg d'azote minéralisé d'après nos calculs.

La culture de poireau plantée mi-juin, ne mobilise pas encore assez d'azote pour que cela soit observable sur les courbes. De la même manière que chez Arnaud, une pluviométrie importante est tombée entre fin avril et fin mai (110 mm) qui ne s'observe pas de façon évidente sur les courbes en termes de lixiviation.

2018



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Poireau 200 kgN/ha (Annexe 3)

Patate douce 100 kgN/ha (Vernier et Varin, 1994)

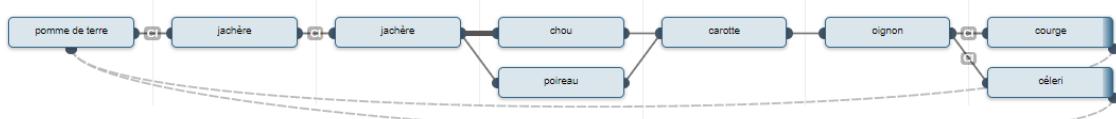
On passe sur la parcelle de 192 kg d'azote nitrique par ha le 03 juillet 2017 à 8 unités le 20 mars 2018. Ces taux vont rester faibles et stables jusqu'à juin 2018. Une augmentation des taux en juin atteint un pic de 78 kgN/ha mi-juillet, pour redescendre à 20 unités/ha début août.

La récolte des poireaux s'est étalée de septembre 2017 à mi-avril 2018, Le poireau étant une culture exigeante (200 unités d'azote mobilisé sur tout le cycle), cela explique en grande partie la chute impressionnante observée. Les 320 mm de pluie tombés entre novembre 2017 et mars 2018 représentent aussi une perte potentielle de plus de 70% de nitrate de l'horizon 0-30cm par lixiviation (figure 3). Dans ce contexte, difficile de dire si la culture a été limitée dans son développement par un manque d'azote, un suivi pendant l'hiver aurait pu nous donner plus d'éléments.

L'achat d'une charrue en 2018, a permis au producteur de labourer plus tard qu'habituellement pour les cultures plantées tardivement dans la saison. Les travaux de sol n'ont seulement été réalisé ici que début juin pour une culture de patate douce qui a été plantée le 07 juin. Au vu de la courbe, on pourrait expliquer les résultats observés une fois encore par le travail de sol. Les taux de nitrates restent faibles tant que le sol n'est pas travaillé. Les travaux de sols : charrue, vibroculteur, cultivateur ainsi que la mise en buttes et la pose d'un paillage polyéthylène noir permettent de créer des conditions favorables à la minéralisation de la MO par la vie du sol. La mise en butte accentue d'autant plus cet effet par un ressuyage et un réchauffement du sol accentué, d'autant plus utile compte tenu des orages du mois de juin. La diminution des taux en août traduit une mobilisation de la culture de patate douce. Un taux de 20 unités d'azote nitrique/ha correspond à un taux que l'on peut considérer comme faible (APREL, 2005). Les besoins de la patate douce étant croissants, la quantité d'azote minéral semble être un facteur qui va limiter le développement de la culture au sein de son cycle.

### Conseils de fertilisation

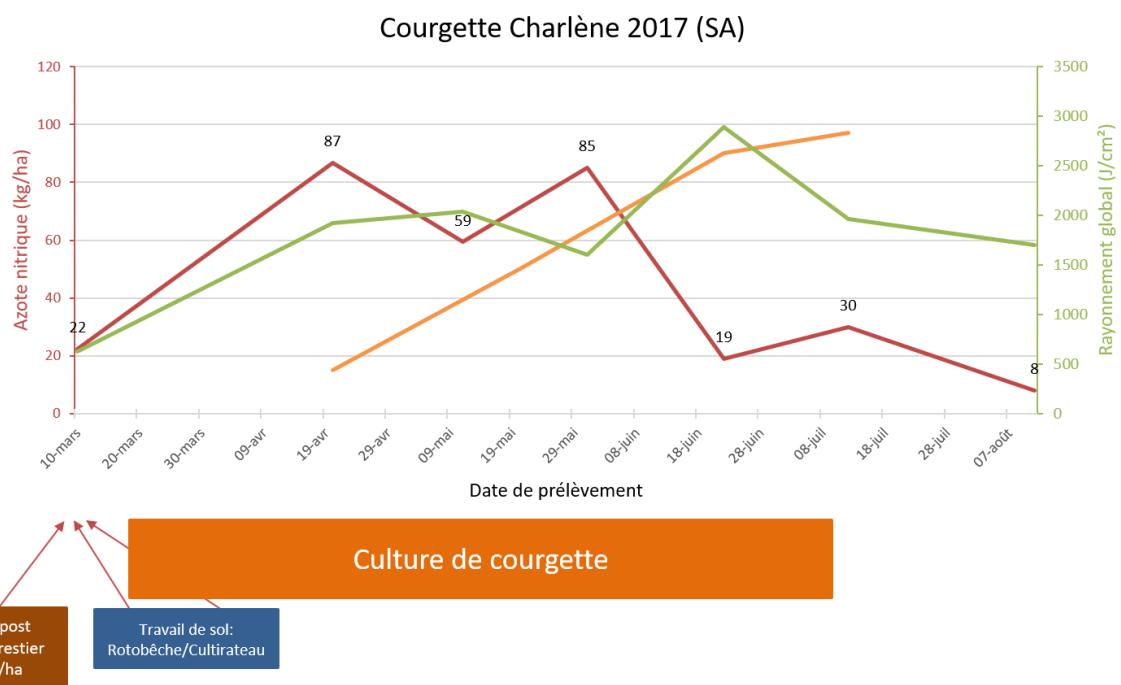
Les apports du producteur consistent à 20t/ha de fumier frais avant pomme de terre tous les 7 ans sur pomme de terre, suivi de 2 ans d'EV (Orge/vesce ou avoine/pois). Un autre EV est réalisé après oignon. Dans notre cas, la culture suivant le poireau a été la patate douce, la carotte présente dans la rotation symbolisant les légumes racines.



Après l'analyse des courbes précédentes, difficile de dire si la culture de poireau a été limitée par l'azote mais il semble que cela soit le cas pour la patate douce. Les deux cultures présentes en fin de rotation pourraient être en situation de sub-carence. Les apports effectués semblent assez limités. Au moins un apport supplémentaire avant légume racine semble nécessaire.

## Charlène (SDC SA)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 100 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 1\% * 14000 * 0,1 = 14 \text{ kgN/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

La courbe démarre avec une teneur en nitrates faible de 22 kg N/ha début mars. Ces teneurs vont ensuite augmenter jusqu'à environ 85 unités fin avril puis fluctuer légèrement jusqu'à début juin. Les valeurs diminuent de manière importante en juin et vont rester sous la barre des 30 unités jusqu'au dernier prélèvement réalisé.

Le 09 mars, la productrice a apporté 14 t de compost Algo-Forestier®, un compost commercial de résidus de bois, végétaux, fumier et algues.

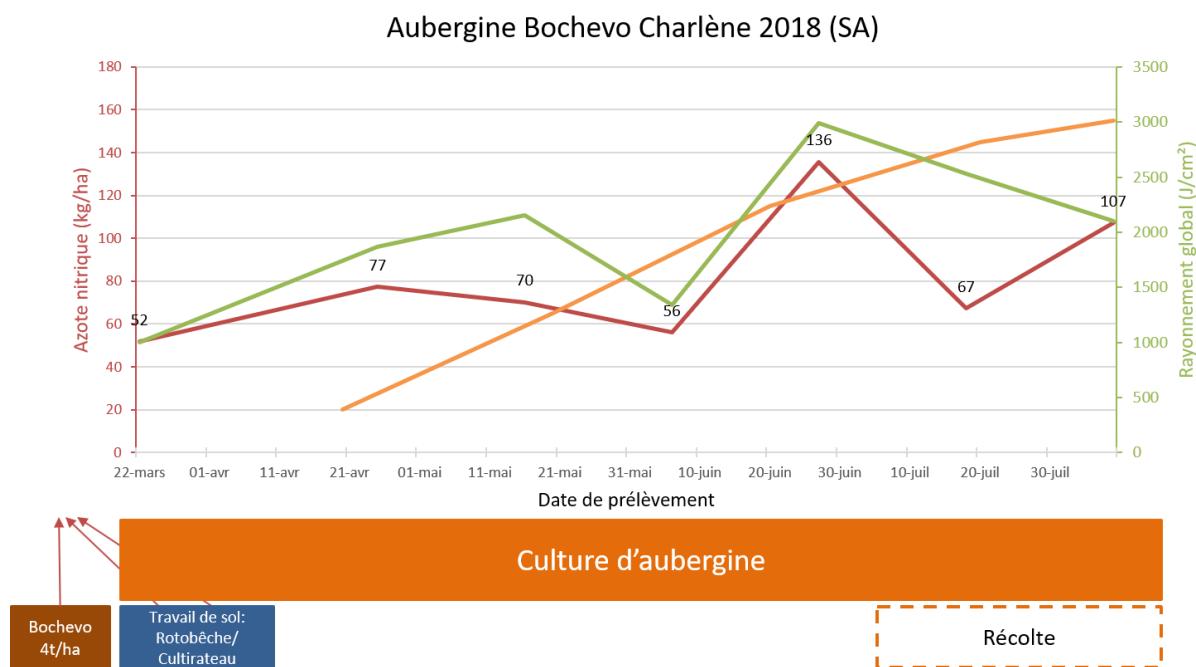
Les courgettes ont été planté le 20 mars, sur toiles de paillage. Compte tenu de la composition variée du compost, on peut s'attendre à une minéralisation étalée dans le temps : une

minéralisation plus rapide des produits plus facilement dégradables (fumiers et algues) et plus longue pour les résidus de bois. Cependant, d'après nos calculs, ce produit ne pourrait représenter qu'un apport de 13 kgN/ha minéralisé sur le cycle de la culture.

Les travaux de sol, ainsi que la température permettent une stimulation de la minéralisation correspondant à l'augmentation du taux de nitrate observé sur la première partie de la courbe. Cette période correspond à des besoins limités de la part de la jeune culture de courgette qui commence véritablement à mobiliser de l'azote à partir de la 4<sup>ème</sup> semaine après plantation (20 unités par semaine à partir de la 4<sup>ème</sup> semaine) (SERAIL, 1998). Ensuite, les diminutions observées à partir de mai peuvent correspondre à une mobilisation plus importante de la culture au moment du grossissement des premiers fruits pour une récolte qui commence début juin et qui s'étend jusqu'à début juillet.

La culture ne semble pas avoir été trop limitée par l'azote si ce n'est en fin de culture.

2018



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 180 kgN/ha

Effet direct de l'engrais organique :  $Xa=3\%*4000*0,5 = 60 \text{ kgN/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

On se retrouve à une cinquantaine d'unités le 22 mars 2018. On observe d'abord une phase d'augmentation du taux de nitrate jusqu'à environ 80 kg d'azote nitrique par ha fin avril, puis une légère diminution jusqu'à début juin pour revenir à des taux proches de 55 kg/ha. On

observe ensuite un pic de 136 unités fin juin, pour revenir à des valeurs de 70 puis 110 unités en juillet.

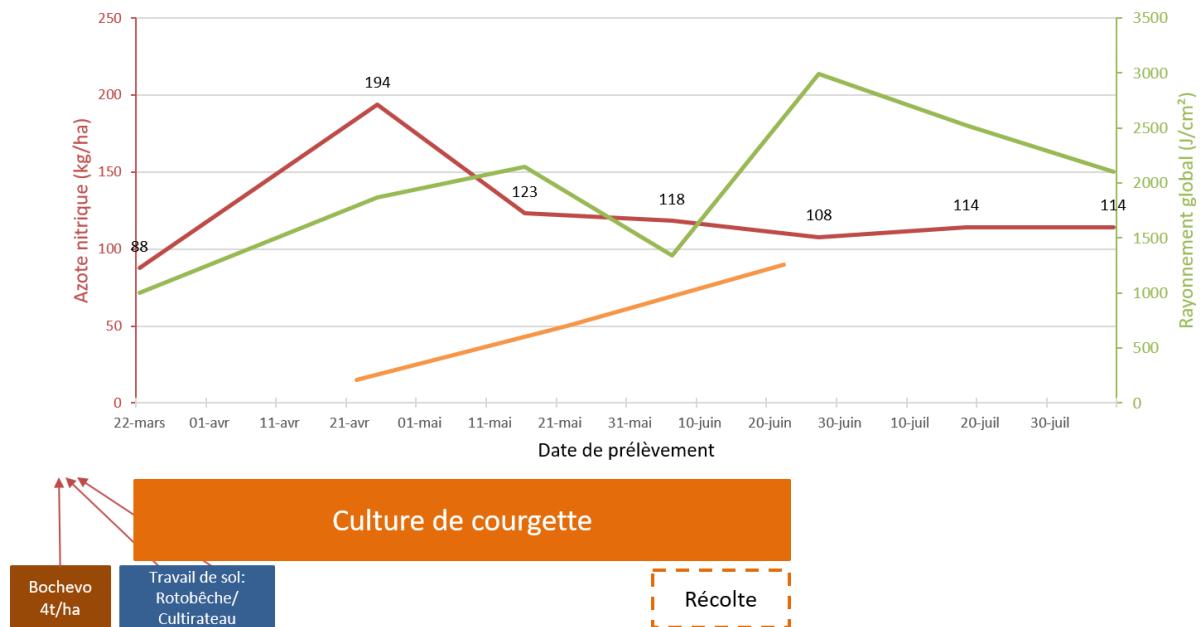
Pour des raisons de praticité d'épandage, la productrice souhaite changer ses pratiques de fertilisation. L'apport de compost en 2017 est remplacé par 4t/ha de Bochevo® en 2018, un compost commercial de différents fumiers et excréments (volaille, bovin et équin) et végétaux, qui se présente sous la forme de granulés. Cet apport et les travaux de sol ont été réalisés autour du 10 mars pour une plantation des aubergines sur toile de paillage autour du 20 mars. Ce produit présente un C/N de 9 plus faible que celui du compost jusque-là utilisé (C/N : 12) et devrait se traduire d'après nos calculs, par plus d'azote minéral apporté sur le cycle de la culture (60 kg N/ha contre 13 kg/ha). La première phase d'augmentation traduit une minéralisation supérieure aux mobilisations de la culture, le rapport s'inversant ensuite. Le pic observé fin juin peut-être en partie lié à des températures de sol plus hautes qui ont stimulé la minéralisation compte tenu du rayonnement. En effet, la dynamique de minéralisation suit nettement le rayonnement en termes de tendance, le lien avec la température du sol et la minéralisation semble ici visible. L'effet direct de l'engrais organique a représenté 60 unités d'azote minéralisées, c'est plus que l'effet direct de l'amendement utilisé en 2017.

La baisse qui suit peut correspondre à des mobilisations importantes de la culture en phase de grossissement des fruits, les taux remontant une fois la période de récolte passée.

On se retrouve ici en 2018 en fin de culture avec des taux beaucoup plus hauts que ceux de 2017 qui chutaient à cette même période malgré des besoins de l'aubergine théoriquement plus importants que ceux de la courgette. Les taux d'azote nitrique sont moyens à satisfaisants durant tout le cycle de l'aubergine, la culture semble avoir été peu impactée par la quantité d'azote minéral disponible.

Deux autres suivis ont été réalisés en 2018 chez cette productrice en raison de sa réflexion de changement de pratique de fertilisation déjà évoqué. Deux cultures de courgettes ont été suivies dans deux tunnels différents ayant été fertilisé différemment. Une culture a été fertilisée de la même manière que la culture d'aubergine 2018, soit 4t/ha de Bochevo®. L'autre a été fertilisée avec 14t/ha de compost Algo-Forestier®, fertilisation jusque-là utilisée.

### Courgette Bochevo Charlène 2018 (SA)



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 100 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'engrais organique :  $Xa=3\%*4000*0,5 = 60 \text{ kgN/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

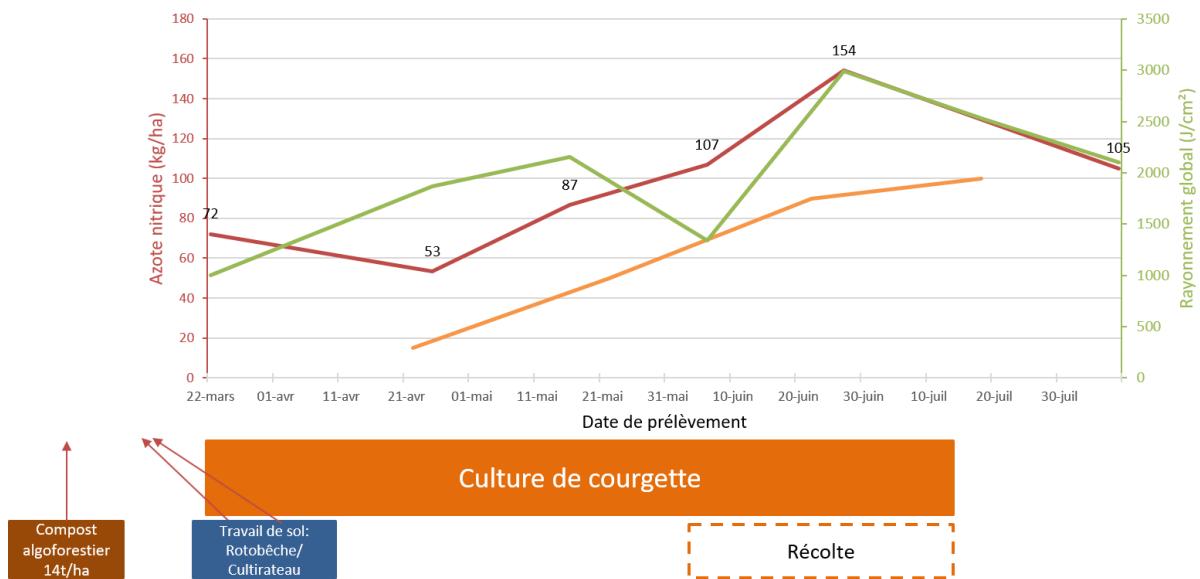
Pour la culture fertilisée avec le Bochevo®, on observe cette fois une augmentation des taux de nitrates en début de culture (25 avril), représentant une augmentation de plus de 100 unités par rapport aux 88 kg N/ha observés fin mars. Les taux diminuent ensuite à partir de mi-mai pour se stabiliser entre 123 et 114 unités sur le reste de la période de prélèvement.

Le travail de sol et la minéralisation de la MO du sol ainsi stimulée expliquent la minéralisation observée sur la première partie de la courbe. La diminution qui suit traduisant des mobilisations de la culture qui deviennent plus intenses (20 unités par semaine à partir de la 4<sup>ème</sup> semaine après plantation) (SERAIL, 1998). On ne remarque pas une chute des taux en fin de culture comme on a pu l'observer sur la culture de courgette en 2017, la minéralisation compensant les besoins de la culture. Les taux ne remontent pas non plus après que la culture ait été récoltée et arrachée.

Ici, on ne peut visiblement pas dégager de corrélation entre teneur en nitrates du sol et rayonnement.

Les taux d'azote nitrique sont satisfaisants durant tout le cycle de la culture, les courgettes se semblent pas du tout avoir été impactées par une limitation de l'azote.

### Courgette Compost Charlène 2018 (SA)



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : 100 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 1\% * 14000 * 0,1 = 14 \text{ kgN/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

Au contraire, pour la culture fertilisée avec le compost, on observe une tendance opposée, plus proche de la courbe 2018 sur culture d'aubergine fertilisée avec le Bochevo®. On se trouve face à une légère diminution entre les deux premiers prélèvements passant de 72 à 53 unités d'azote nitrique par ha. Les taux augmentent de manière constante par la suite pour atteindre un pic de 154 unités. Ces teneurs en nitrates diminuent ensuite légèrement pour revenir à des valeurs de 105 puis 126 unités en juillet.

La première phase d'augmentation traduit une minéralisation supérieure aux mobilisations de la culture, le pic observé fin juin correspond avec une augmentation du rayonnement pouvant avoir traduit une augmentation de la température du sol ainsi qu'une diminution des besoins de la courgette. Le rapport s'inverse ensuite confirmant une mobilisation plus importante de la culture due au grossissement des fruits déjà observé en 2017.

Les taux sont satisfaisants sur la majeure partie du cycle de la culture, la courgette ne semble pas avoir été limitée par l'élément azote.

Lorsque l'on compare ces deux courbes, on serait tenté de trouver une explication dans les caractéristiques des deux produits utilisés pour la fertilisation.

D'une part : 4t/ha de Bochevo® correspond à 120 unités d'azote au total, effet direct estimé à 60 kgN/ha, un produit à C/N de 9.

D'autre part : 14t/ha de compost Algo-Forestier® correspondant à 140 unités d'azote au total, effet direct estimé à 14 kgN/ha, C/N de 12 et plus lignifié.

On pourrait alors expliquer les deux courbes comme suit :

Pour la culture fertilisée au Bochevo®, le produit a été minéralisé rapidement produisant le pic important observé au départ. Une grande partie du produit ayant été minéralisée en même temps, la minéralisation est moindre par la suite et les besoins de la courgette sont responsables de la chute observée.

Pour la culture ayant reçu du compost, une légère faim d'azote est observée au départ mais s'en suit une minéralisation plus étalée lente et constante expliquée par le C/N plus haut du produit et sa composition variée (à la fois des produits animaux et algues qu'on suppose minéraliser plus rapidement que les déchets issus de bois plus difficiles à dégrader par les organismes du sol). La part d'azote apportée par le produit restant minoritaire (13 kgN/ha).

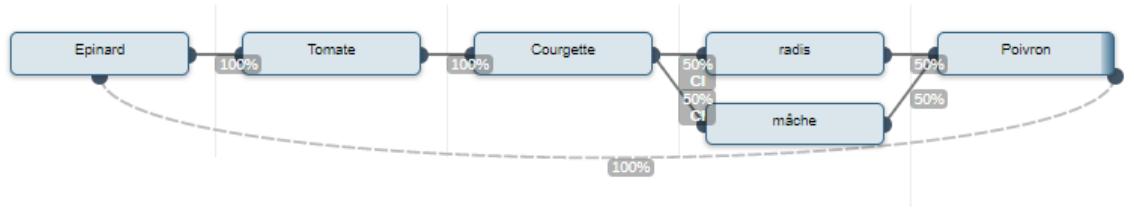
Cependant ces comportements ne sont pas retrouvés quand on observe les autres courbes. La courbe fertilisée au compost en courgette en 2017 est très différente de son homologue en 2018. Même constat entre les deux courbes fertilisées au Bochevo® en 2018.

Une possible explication de cette peut venir des mobilisations plus importantes de la culture d'aubergine pour les courbes fertilisées au Bochevo®.

On constate donc que les dynamiques observées ne peuvent pas simplement être expliquées par la fertilisation apportée avant culture et la culture en place. Les explications sont surtout à chercher au niveau de l'historique des parcelles étudiées. En 2018, sur aubergine, on part de taux faibles expliqués par les mobilisations de la courgette précédente, les taux remontent doucement et atteignent un pic en fin de culture. De la même manière, en 2018 sur courgette fertilisée au compost, la précédente tomate exigeant en azote a davantage mobilisé les ressources azotées du sol, les taux montent progressivement et atteignent un pic en fin de culture. La précédente mâche de la culture de courgette fertilisée au Bochevo® a pu être broyé et incorporé, expliquant en partie le pic de minéralisation observé en début de culture.

### **Conseils de fertilisation**

Les pratiques de la productrice consistaient à un apport de 14t/ha de compost Algo-Forestier® tous les ans. Des réflexions d'évolution de pratiques la font passer progressivement à remplacer cet apport par 4t/ha de Bochevo®. Un EV (Moha) est présent dans la rotation tous les 3 ans. La rotation suivante est théorique, elle ne correspond pas tout à fait à l'ensemble des parcelles étudiées.

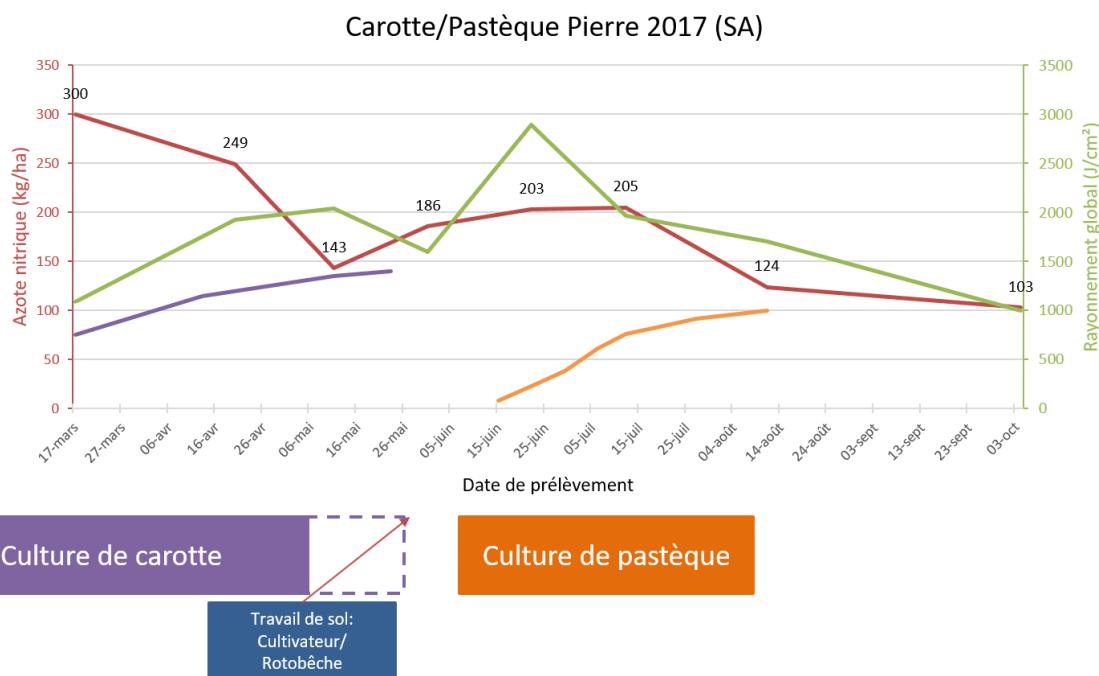


Comme nous l'avons vu, les deux produits utilisés ne sont pas du même type, envisager un remplacement de l'un par l'autre n'est pas forcément souhaitable. Le compost est un amendement qui a un rôle majoritaire d'amélioration des propriétés physiques du sol et de l'entretien du stock des MO dont l'azote qu'il contient va être minéraliser au cours de plusieurs années.

Le Bochevo®, en tant qu'engrais organique va être profitable en termes de fourniture directe d'azote à la culture. Cependant, son rôle dans l'apport au sol de MO humifiée est mineur. Les deux types d'apports doivent être raisonnés de manière complémentaire.

### Pierre (SDC SA)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Carotte 140 kgN/ha

Pastèque 100 kgN/ha (Annexe 3)

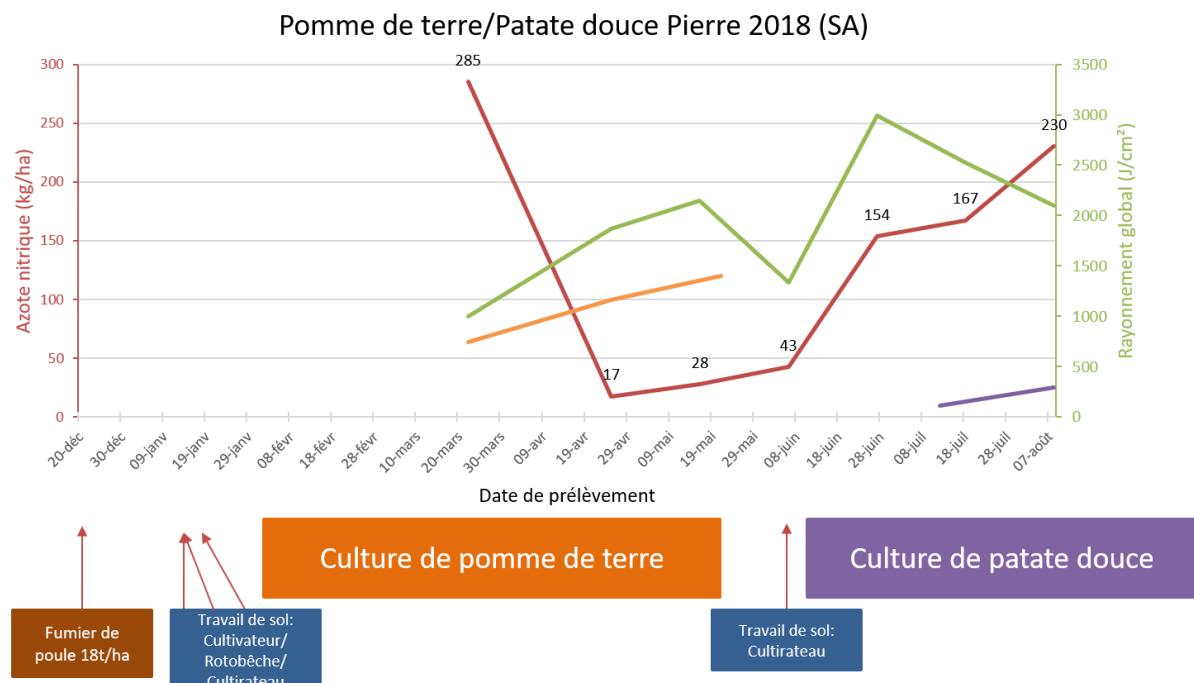
Pas de fertilisation mais arrière effet du retournelement d'une prairie de 5 ans en automne 2016 : 50 KgN/ha (Chambre d'agriculture Région Nord Pas de Calais, 2013)

On observe un reliquat sortie hiver de 300 kg d'azote nitrique par ha fin mars. Ces teneurs vont chuter pour atteindre 143 unités début mai puis réaugmenter jusqu'à 205 unités le 15 juillet. S'en suit une diminution des taux pour atteindre 103 unités le 03 octobre.

Les taux d'azote très élevés observés peuvent être expliqués par le précédent prairie, apportant un volume important et régulier de MO en partie minéralisée. Le semis ayant été réalisé mi-novembre, la mobilisation en azote de la culture est censée être maximale à partir du 4<sup>ème</sup> mois de culture, soit mi-février, pour 20 kgN/ha prélevées par mois. (SERAIL, 1998) Mais en hiver la culture se développe lentement, ces besoins ont pu être décalés, expliquant la diminution observée en avril/mai. La ré-augmentation des taux de nitrate constatée ensuite correspond à l'arrêt de la mobilisation par la culture, la minéralisation devenant supérieure aux mobilisations. Ensuite, la culture de pastèque mobilise à son tour l'élément, expliquant la diminution observée en août.

Pour les deux cultures les taux d'azote nitriques observés sont satisfaisants sur l'ensemble des cycles des cultures, il y a peu de chances que l'azote ai été limitant.

2018



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Pomme de terre primeur 120 kgN/ha (Annexe 3)

Patate douce 100 kgN/ha (P. Vernier et D. Varin, 1994)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 25 * 18 * 0,2 = 90 \text{ kgN/ha}$  (COMIFER, 2013)

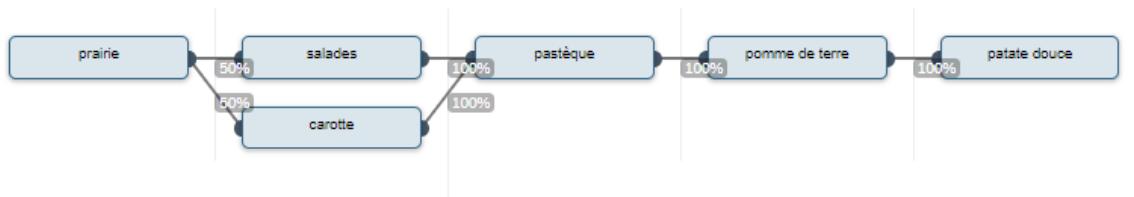
La dernière valeur de 2017 donne 100 unités début octobre. Fin décembre, 18t/ha de fumier de poule ont été apporté. Une chute très impressionnante des taux de plus de 250 unités est constatée entre le 22 mars et le 25 avril. La teneur en nitrate des sols augmente de manière limitée en mai avant une importante augmentation fin juin qui aboutit à un taux de 250 unités début août.

Le fumier de poule se caractérise par une forte proportion en azote ammoniacal qui va très rapidement être disponible dans le sol par nitrification. Ce n'est pas le cas des fumiers de bovins qui comportent peu d'azote sous forme ammoniacale. Cette caractéristique explique les taux de nitrates importants observés fin mars (effet direct de l'amendement : 90 kgN/ha). Les pommes de terre ayant été planté début février, les mobilisations en azote se manifestent surtout à partir de mi-mars, 60% des prélèvements en azote sont réalisés avant tubérisation (Yara, 2017 ; Chambre d'agriculture de Bretagne, 2015). La chute importante observée en avril correspond en partie à cette mobilisation. Cependant, cette chute ne peut pas s'expliquer uniquement par les mobilisations. En effet, sur l'ensemble de son cycle, les mobilisations azotées de la culture s'élèvent à 120 unités. Le producteur a arrosé de manière assez généreuse sa culture, une irrigation qui a pu être responsable de lixiviation qui expliquerait les unités perdues non expliquées par la mobilisation de la culture. Une fois la récolte effectuée, les augmentations des taux traduisent une minéralisation de la MO du sol. Lors des prélèvements ultérieurs, on peut s'attendre à une nouvelle diminution des taux car la patate douce va commencer à mobiliser l'azote de façon importante après le deuxième mois de culture après plantation. Cependant considérant les taux élevés en début de cycle, la culture ne devrait pas être affectée de façon importante par un manque d'azote.

Malgré la chute observée sur pomme de terre, on peut considérer que la culture n'a pas été limitée par l'azote pour son développement.

### Conseils de fertilisation

Le producteur fertilise avec du fumier de poule à la dose de 15 à 20t/ha ou utilise 3t/ha de Profumus® devant sa culture de pomme de terre et de patate douce. Un EV (Moha) est réalisé une fois tous les quatre ans.

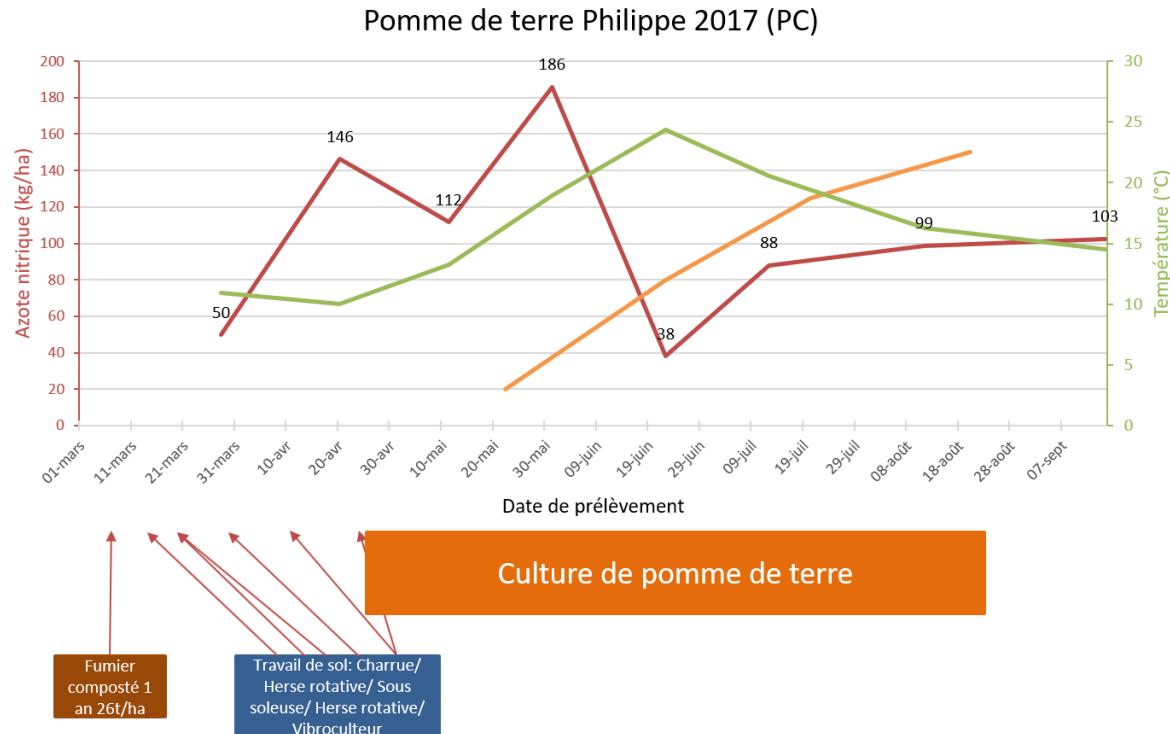


La fertilisation mise en place par le producteur semble adaptée en considérant les courbes analysées. La pression vis-à-vis des bioagresseur a été faible, n'incitant pas à une modification des pratiques pour cette raison. Cependant la mise en culture du tunnel est récente et le

précèdent prairie a doté le sol d'importantes quantités de matières organiques humifiées qui expliquent en partie les taux élevés observés. La fertilisation sera à ajuster les années qui viennent pour permettre de maintenir les rendements élevés et la qualité des légumes actuelle de l'exploitation.

## Philippe (SDC SA)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Pomme de terre 150 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 6,5 * 26 * 0,1 = 17$  kgN/ha (COMIFER, 2013)

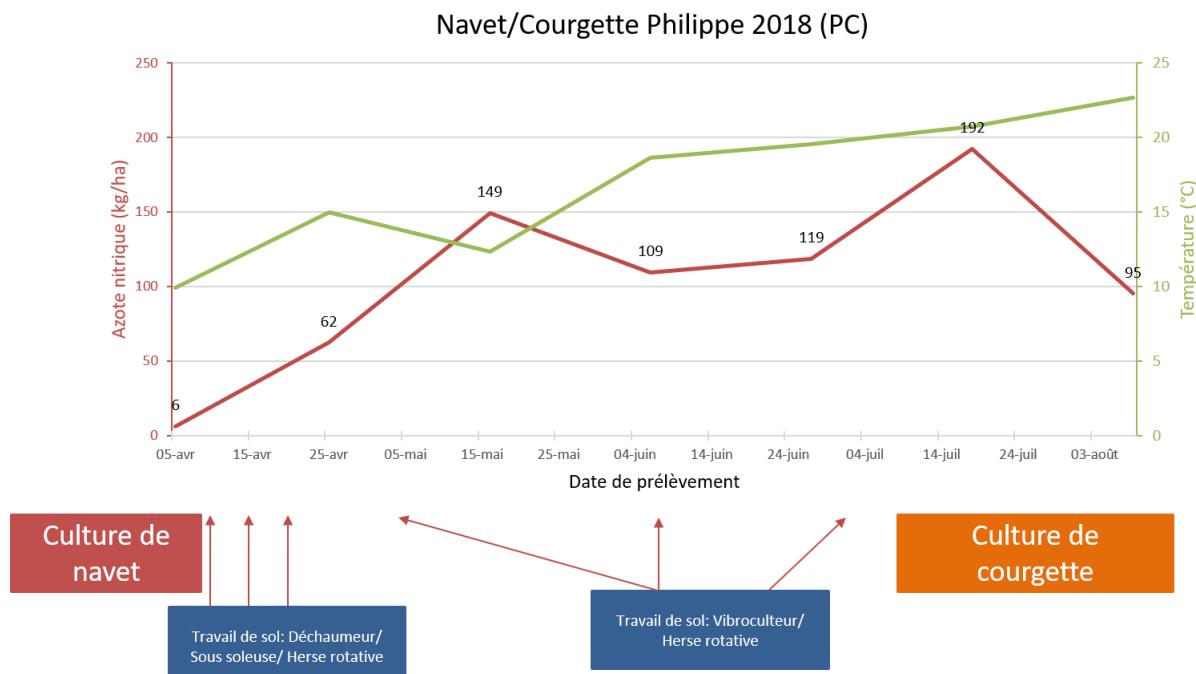
Rendement : 10t/ha

On observe une importante augmentation des taux de nitrate entre les deux premiers points de la courbe, les teneurs en nitrates du sol passant de 50 à 146 unités. S'en suit une diminution légère puis une nouvelle augmentation jusqu'à 186 unités le 30 mai. Les taux chutent jusqu'à 38 unités en juin avant de réaugmenter pour atteindre 100 kg/ha mi-août.

290 mm de pluie sont tombés entre novembre 2016 et février 2017 sur la station de Rennes qui représenterait une lixiviation potentielle représentant jusqu'à 60% de pertes de l'horizon 0-30cm, pouvant expliquer la teneur en nitrate relativement faible en sortie d'hiver. Un apport de 26t/ha de fumier composté 1 an a été réalisé le 10 mars 2017. L'augmentation initiale des taux s'explique par les nombreux travaux de sols effectués et la minéralisation de la MO du sol (en petite partie apportée par le fumier composté (effet direct : 17 kgN/ha) et en grande majorité

l'humus et d'autres MO du sol). La perte de quelques dizaines d'unités peut être expliquée par les épisodes orageux ayant eu lieu avant le prélèvement du 11 mai. La chute importante des teneurs en azote nitrique du sol s'explique en grande partie par la mobilisation de la culture. La perte par lixiviation n'est pas envisageable étant donné les faibles précipitations sur la période. Ce taux observé fin juin est plutôt faible, mais globalement sur l'ensemble du cycle, la culture ne semble pas avoir été pénalisée par un manque d'azote disponible. Le rendement assez faible de 10t/ha ne semble pas pouvoir être expliqué par un manque d'azote.

2018



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Courgette 100 kgN/ha

Nivet 90 kgN/ha (Annexe 3), rendement de la culture de navet : 20t/ha

Pas de fertilisation

Pendant la période non suivie par les tests nitrates, une culture de navet a été réalisée. Elle a été semée le 07 septembre 2017 et la récolte s'est étalée de février jusqu'en mars 2018.

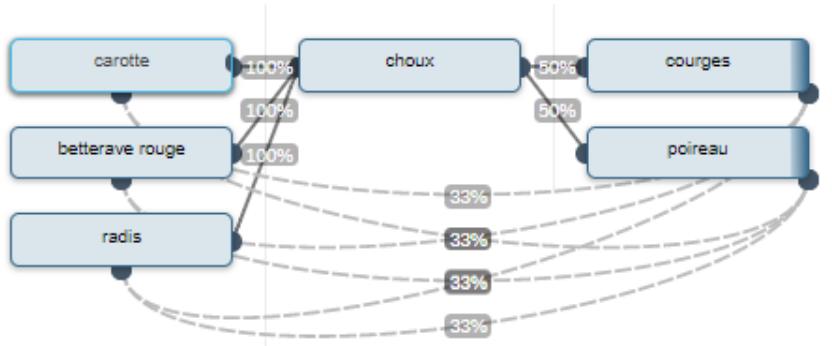
La teneur en nitrates du sol en sortie d'hiver est très faible, 6 unités début avril. Cette teneur augmente pour atteindre 150 unités le 15 mai. La courbe forme un creux de valeur basse de 109/119 unités en juin. Les taux réaugmentent ensuite pour atteindre 192 unités mi-juillet. 100 unités sont ensuite perdues à l'issu du dernier prélèvement d'août.

Le taux très bas du 1<sup>er</sup> prélèvement s'explique par les mobilisations de la culture de navet mais aussi par les 320 mm de pluie tombés entre novembre 2017 et mars 2018 représentant une

perte potentielle de plus de 70% de nitrate de l'horizon 0-30cm par lixiviation (figure 3). Quelques navets restent sur la parcelle, ils seront incorporés au sol le 10 avril. Suite aux différents travaux de sol et en l'absence de mobilisation de culture, la minéralisation de la MO du sol se traduit par l'augmentation des taux de nitrate observée. La courbe des taux de nitrates suit globalement la tendance d'augmentation des températures. La diminution de la teneur en nitrates observée sur le dernier prélèvement correspond à la mobilisation azotée de la culture qui s'exprime surtout à partir du deuxième mois après plantation (20 unités/ha par mois le 1<sup>er</sup> mois, puis 30 et 40 les mois suivants) (SERAIL, 1998). La culture ne devrait pas se trouver en situation de manque d'azote compte tenu des taux observés.

### Conseils de fertilisation

Le producteur apporte 1/ha de Profumus sur chou, courge et poireau 2 fois tous les 3 ans, 15t/ha fumier composté 1 an est apporté en plus tous les 3 ans sur la culture de choux. Un EV est réalisé tous les 5 ans (triticale/seigle/féverole). Un apport calcique de carbonate de calcium est apporté tous les 2 ans à hauteur d'1,5 t/ha.

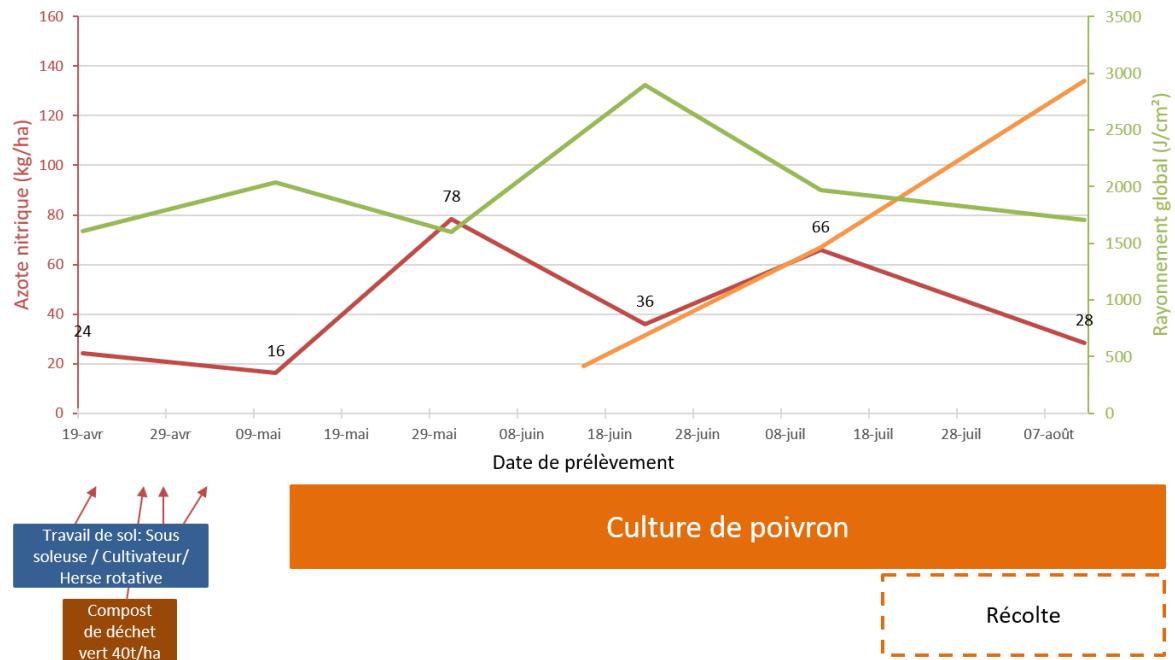


Compte tenu des courbes observées, les pratiques de fertilisation globales semblent assez satisfaisantes. Les informations recueillies ne sont pas suffisantes pour conseiller le producteur sur une éventuelle modification de ces pratiques.

## Guillaume (SDC SA)

2017

### Poivron Guillaume 2017 (SA)



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Poivron 250 kg N/ha (Annexe 3)

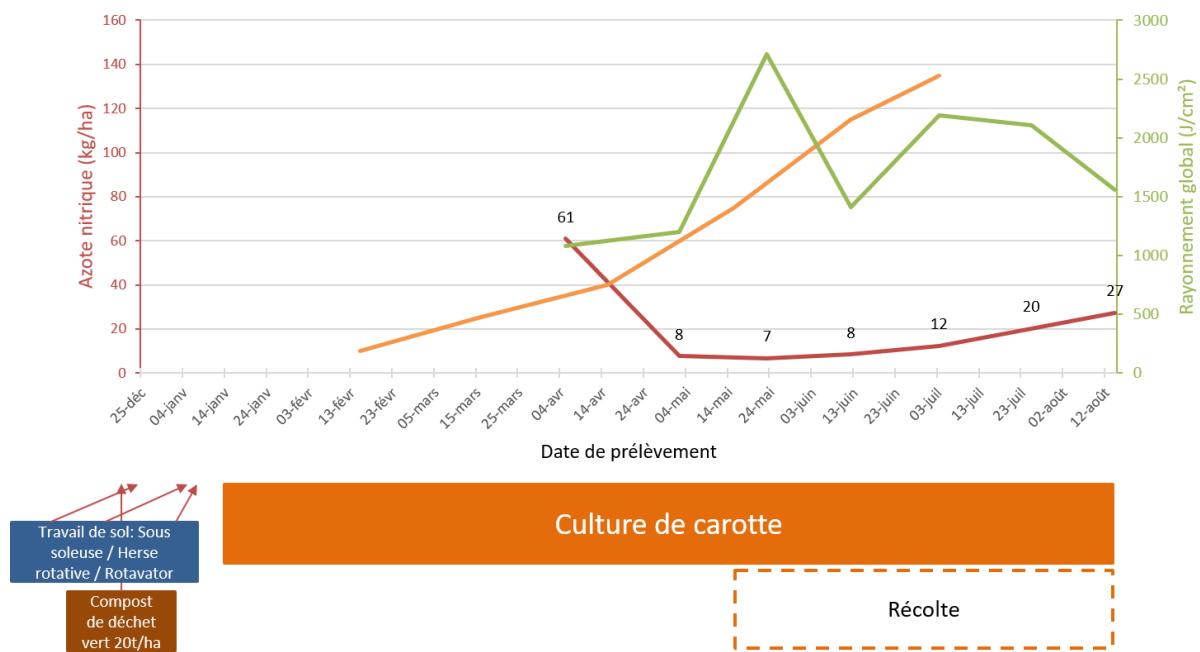
Effet direct de l'amendement organique :  $Xa=0,8\%*40000*0,09 = 29 \text{ kg N/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

La teneur en nitrates observée en sortie hiver correspond à 24 unités d'azote nitrique par hectare (figure 22). Une légère diminution est suivie d'une augmentation conséquente de 60 kg N/ha entre le 11 mai et le 31 mai. Les taux fluctuent entre 28 et 66 kg N/ha par la suite.

Les travaux de sol en avril/mai stimulent la minéralisation et expliquent l'augmentation des taux de mai. Les mobilisations azotées de la culture expliquent potentiellement ensuite les fluctuations observées. En août, une baisse des taux importante est observée, cela correspond avec une mobilisation plus importante de la culture au moment du grossissement des fruits. Les taux observés étant globalement assez moyens, la culture a pu être limitée par un manque d'azote disponible.

2018

### Carotte Guillaume 2018 (SA)



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Carotte 140 kg N/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 0,8\% * 20000 * 0,09 = 14 \text{ kg N/ha}$  (Estimation haute du KeqN d'après CTIFL, 2018)

La courbe d'évolution des teneurs en azote nitrique du sol suit une dynamique simple (figure 23). Cette teneur diminue de plus de 50 kg N/ha entre le premier prélèvement (affichant 61 kg/ha) et le second. La courbe se manifeste ensuite par une augmentation des teneurs pour atteindre un peu moins de 30 kg N/ha mi-août.

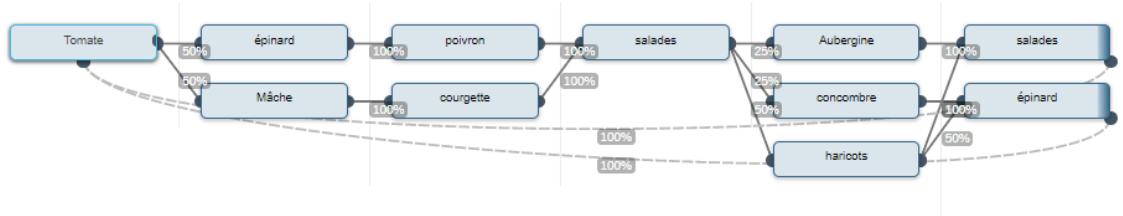
L'arrêt de la mobilisation de la culture de poivron et la mobilisation faible de la culture de carotte semée le 15 janvier expliquent une augmentation du taux observé par rapport à la dernière valeur de 2017. Cependant, la valeur relativement faible de début avril s'explique par une mobilisation de la part de la culture essentiellement réalisée à partir du 3<sup>ème</sup> mois après le semis (20 kg N/ha puis 30 kg prélevées par mois le 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> mois) (SERAIL, 1998). Si l'on revient au cas de Thierry (annexe 9), ayant réalisé lui aussi en 2018 une culture de carotte semée à la même date, la diminution du taux de nitrate est de 120 kg N/ha pendant les mois d'avril, mai, juin en commençant avec un reliquat de 170 kg N/ha. On comprend alors que les taux de nitrates deviennent rapidement très faibles et le restent dans le cas de la courbe de Guillaume qui commence à 60 kg N/ha. Le faible apport direct de la MO utilisée justifie en partie ces faibles taux observés en lien avec le rapport C/N.

Un apport important de MO carboné chaque année, comme le pratique le producteur peut conduire à une faim d'azote expliquée par la mobilisation de l'azote par la vie du sol.

La culture semble avoir été limitée de façon importante par la quantité d'azote disponible au mois de mai et juin. Après le 03 juillet, les prélèvements ont été réalisés sur la partie récoltée de la parcelle, expliquant l'augmentation des taux progressive observée.

### Conseils de fertilisation

Le producteur pratique une fertilisation basée sur l'apport de compost de déchets verts de 10 à 50 t/ha sur toutes les cultures, complété avec un engrais organo-minéral (7-6-7) sur poivron et tomate seulement depuis 2018. Un apport de lithothamne est réalisé tous les 2 ans à la dose de 300 kg/ha (figure 24).

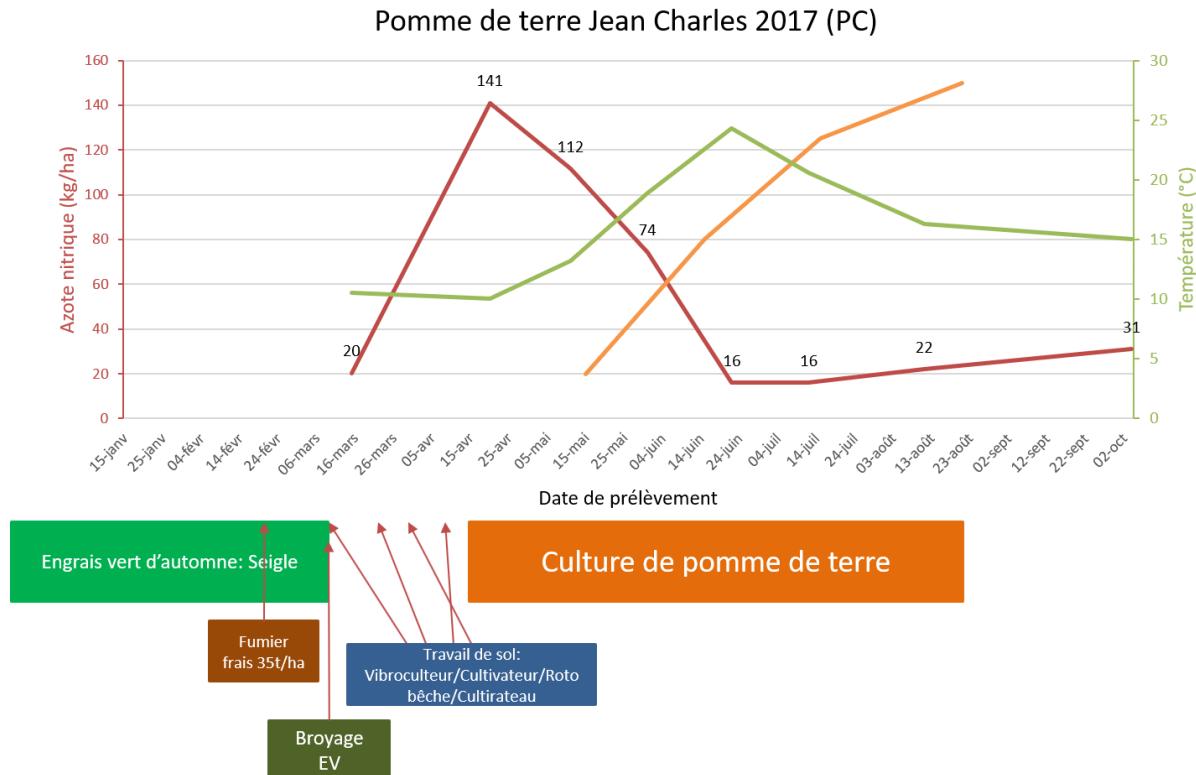


Considérant les courbes analysées, les taux d'azote nitrique du sol sont très faibles. Les systèmes SA permettant en général d'obtenir des taux beaucoup plus importants compte tenu du climat qui favorise la minéralisation. Ces faibles taux conduisant à des possibles carences pour les légumes. Ils s'expliquent par des apports répétés d'amendements végétaux riches en composés durs à dégrader comme la lignine et à C/N assez élevé (C/N de 15). Ceux-ci conduisent à une accumulation de MO pauvres en azote dans les sols, la vie du sol ayant besoin d'aller chercher de l'azote dans le milieu pour décomposer ces amendements durs à dégrader.

Malgré l'avantage sur les propriétés physiques du sol que permet un tel amendement, il ne doit pas être exclusif. Il serait conseillé de remplacer une partie de ces apports par des produits plus riches en azote comme des amendements animaux et chercher à intégrer des EV incorporé à un stade jeune pour stimuler les populations microbiennes du sol.

## Jean Charles (SDC de PC)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Pomme de terre 150 kgN/ha (Annexe 3)

Rendement réalisé : 40t/ha

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 5,8 * 35 * 0,25 = 51 \text{ kgN/ha}$  (COMIFER, 2013)

Minéralisation nette de résidus de CI :

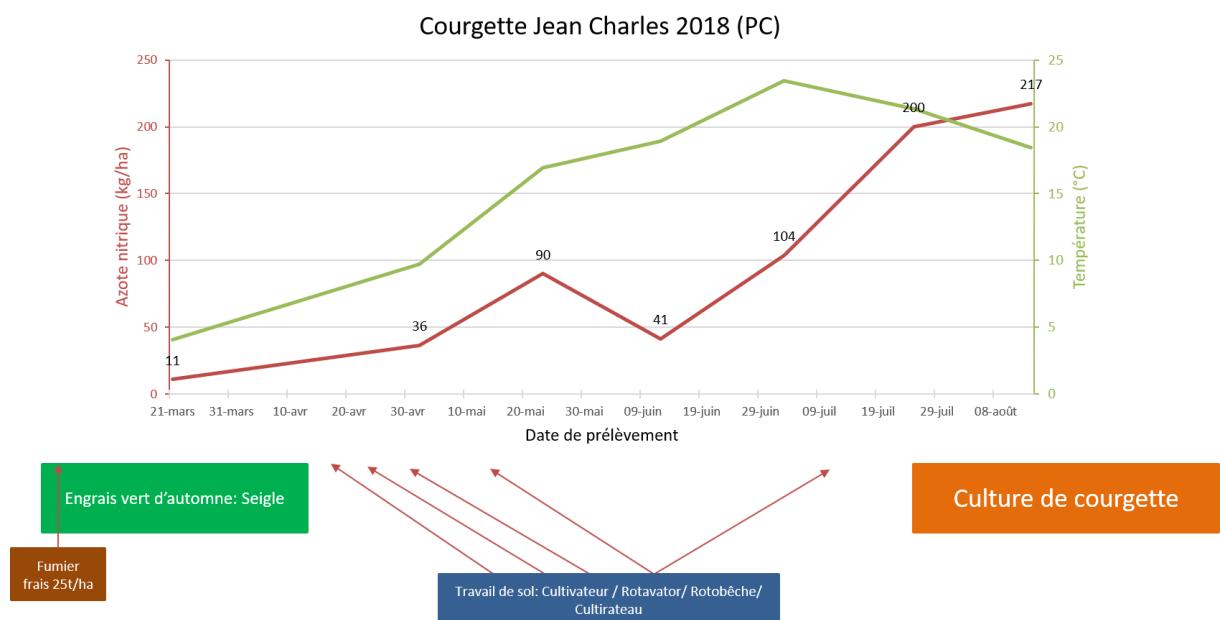
Si on considère un rendement de 3t/ha de MS, on a :  $MrCi = 1,9\% * 3000 * 30\% = 17 \text{ kgN/ha}$  (CTIFL, 2018)

La courbe montre une augmentation très rapide des teneurs en azote nitrique dans les premiers 30 cm du sol entre le 15 mars et le 20 avril 2018, passant de 20 à 140 kg d'azote nitrique par hectare (figure 9). Les taux chutent ensuite pour atteindre 16 kgN/ha fin juin. Ceux-ci réaugmentent ensuite de manière limitée jusqu'à environ 30 kgN/ha début octobre.

La mobilisation azotée de l'EV de seigle, ainsi que les 290 mm de pluie qui sont tombés entre novembre 2016 et février 2017 sur la station de Rennes expliquent le taux d'azote faible observé en sortie d'hiver. L'apport de 35t/ha de fumier frais sur le seigle qui sera broyé le 10 mars représente une quantité importante de MO. Les différents travaux de sol réalisés en mars/avril stimulent la minéralisation de cette MO, expliquant l'augmentation observée. L'effet direct du fumier est non négligeable dans cette augmentation (effet direct estimé à 51 kgN/ha). En effet, la fraction ammoniacale contenue dans le fumier frais est très rapidement disponible

dans le sol sous forme nitrate par l'action des bactéries responsables de la nitrification. La diminution des taux observée ensuite s'explique par une mobilisation azotée croissante de la culture, en effet, 60% des prélèvements en azote sont réalisés avant tubérisation de la pomme de terre (Yara, 2017 ; Chambre d'agriculture de Bretagne, 2015). Une lixiviation des nitrates a aussi peut-être participé à cette baisse (120 mm de pluie tombés entre le 30 avril et le 31 mai). Les précipitations seraient surtout responsables du début de la chute et les prélèvements des pommes de terre de la fin de celle-ci. Ces facteurs de perte de nitrates du sol deviennent largement supérieurs aux facteurs de gain (principalement la minéralisation de la MO du sol) se traduisant par la baisse importante observée. Les taux d'azote nitrique sont faibles en fin de cycle, cependant les rendements réalisés par le producteur (40t/ha), très satisfaisants considérants les rendements en agriculture biologique, semble indiquer que la culture n'a pas été impactée par un manque d'azote. (Chambre d'agriculture Rhône-Alpes, 2013)

2018



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Courgette 100 kgN/ha (Annexe 3)

Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 5,8 \times 25 \times 0,25 = 36 \text{ kgN/ha}$  (COMIFER, 2013)

Minéralisation nette de résidus de CI

Si on considère un rendement de 3t/ha de MS, on a :  $MrCi = 1,9\% \times 3000 \times 30\% = 17 \text{ kgN/ha}$  (CTIFL, 2018)

La teneur en nitrates du sol affiche moins de 10 kg N/ha en sortie d'hiver fin mars (figure 10). La teneur augmente ensuite jusqu'en mai (90 kg N/ha), pour perdre 50 unités début juin. Le reste de la saison de prélèvement est caractérisée par une augmentation jusqu'à 217 unités/ha en août.

Le taux d'azote faible en début de saison s'explique par les mobilisations du seigle mais aussi par les 320 mm de pluie tombés entre novembre 2017 et mars 2018. Un apport important de fumier frais a été réalisé en 2018 (25 tonnes/ha) représentant un effet direct de 36 kgN/ha. Cet apport, le broyage du seigle et les différents travaux de sol réalisés ainsi que les températures croissantes visibles sur la courbe sont autant de paramètres qui ont favorisé la minéralisation de la MO du sol. En condition de sol nu, les mobilisations de la culture sont absentes et donc le principal facteur de diminution des teneurs en azote nitrique n'entre pas en jeu sur cette courbe.

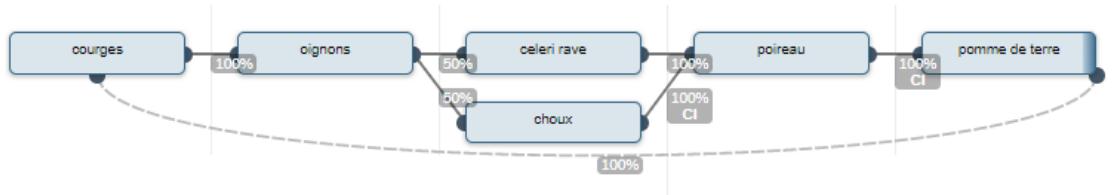
La baisse constatée début juin s'explique par les données pluviométriques :

94 mm de pluie sont tombés au mois de juin avant le prélèvement du 12 juin, cela représente une lixiviation potentielle d'environ 4% du nitrate sur l'horizon prélevé (figure 3). La perte constatée est plus importante. Le prélèvement de terre du 12 juin étant très humide, cette valeur plus faible peut aussi s'expliquer par la moindre grande fiabilité du test nitrate qui n'est pas conçu pour des mesures de prélèvements saturés d'eau malgré l'application d'un coefficient tenant compte de l'humidité. Des réactions de dénitrification ont aussi pu avoir lieu si le sol est resté en excès d'eau sur cette période.

En résumé, les taux observés illustrent bien la minéralisation des MO du sol, ainsi que la lixiviation et/ou dénitrification, les mobilisations de la culture n'étant visibles sur la courbe que par un ralentissement de l'augmentation des taux en août. Cette période correspond à des besoins limités de la part de la jeune culture de courgette qui commence véritablement à mobiliser de l'azote à partir du deuxième mois après plantation (20 kg N/ha par mois le 1<sup>er</sup> mois, puis 30 et 40 les mois suivants) (SERAIL, 1998). On peut supposer que la culture aura de quoi satisfaire ses besoins azotés en considérant les taux observés.

## Conseils de fertilisation

Le producteur fertilise avec du fumier de bovin frais 2 fois tous les 5 ans à raison de 25 et 35t/ha, respectivement épandu avant poireau et pomme de terre, sur un EV en sortie d'hiver (figure 11). 10t/ha de fumier composté 1 an a été apporté sur choux en 2018. Les semis d'EV (Seigle), sont réalisés 1,5 fois tous les 5 ans.

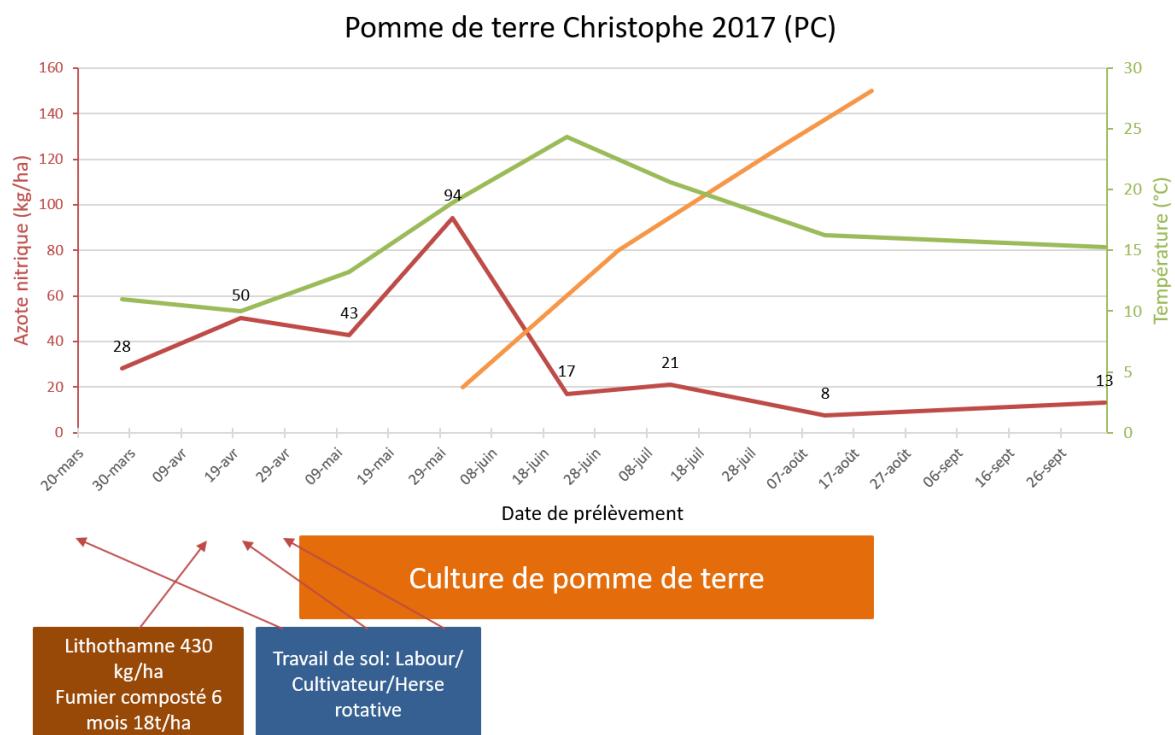


Le producteur travaille avec du fumier frais à la différence d'une majorité des maraîchers du groupe qui travaille avec du fumier composté. Le fumier frais a l'avantage d'apporter une part d'azote facilement disponible pour la culture qui peut être plus importante par rapport à un

fumier composté. Le producteur a ajusté ses doses au fil des années et des expériences pour réduire sa pression de puceron importante observée en cas d'apports importants. Ses pratiques semblent bien adaptées à son SDC. Cependant les composts de fumier de bovins ont d'autres avantages que ne possède pas le fumier frais. Un compost de fumier jeune bien réalisé permet notamment d'assainir le produit tant au niveau des pathogènes que des graines d'adventices. (Amisol)

### Christophe (SDC PC)

2017



Mobilisation azotée de la culture sur tout le cycle : Pomme de terre 150 kgN/ha (Annexe 3)

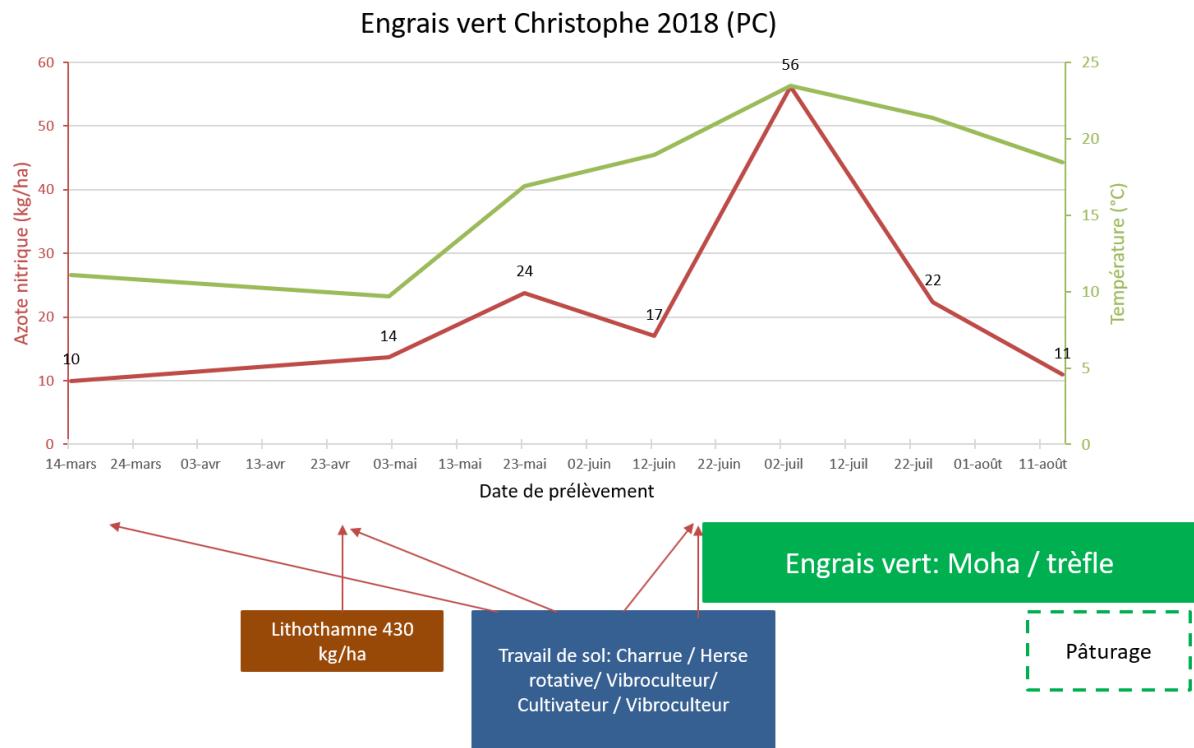
Effet direct de l'amendement organique :  $X_a = 6,5 * 18 * 0,1 = 12$  kgN/ha (COMIFER, 2013)

La courbe des teneurs en nitrates du sol traduit une augmentation des taux légère de 20 unités par rapport au prélèvement sortie hiver donnant 28 kg d'azote nitrique par ha. Cette augmentation est stoppée le 11 mai, puis un pic de 94 unités est observé le 31 mai. Les taux redescendent ensuite rapidement pour rester entre 8 et 21 unités sur la fin de saison des prélèvements.

Les pluies importantes de l'hiver expliquent le taux de nitrate faible en sortie d'hiver. L'apport de 18 t de fumier composté 6 mois et de 430 kg/ha de lithothamne début avril ainsi que les différents travaux de sol, conduisent à une minéralisation rapide expliquant les augmentations

et en particulier le pic observé le 31 mai. La diminution du 11 mai peut être expliquée par les épisodes orageux. La mobilisation importante de la culture explique ensuite la chute des taux. D'après la courbe, la culture a potentiellement été limitée par les quantités d'azote pour sa tubérisation.

2018



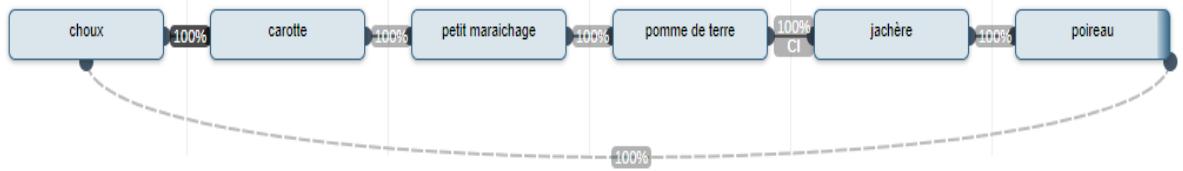
Le reliquat sortie hiver affiche une valeur proche des 10 unités d'azote nitrique/ha. La courbe montre une légère augmentation des taux le 23 mai, qui redescendent puis affichent un pic début juillet de 56 kg d'azote nitrique par ha. Les taux chutent ensuite pour afficher 10 unités sur le dernier prélèvement.

On retrouve des taux de nitrate très faible le 14 mars 2018. Le sol a été laissé nu toute cette période a été sensible à la lixiviation des nitrates durant l'hiver. La courbe de 2018 montre une minéralisation qui tarde à arriver dans la saison. La baisse du 12 juin peut être expliquée par les épisodes orageux (94 mm tombé en juin avant le 12). Malgré des travaux de sol réalisé fin mars et début avril, la minéralisation va véritablement être visible le 03 juillet.

### Conseils de fertilisation

Le producteur apporte du fumier composté 6 mois entre 4 et 18t/ha environ 1 an sur 2 sur ses cultures de chou, pomme de terre, poireau. Un EV (seigle/vesce) laissé en place est réalisé

tous les 6 ans. Un apport de lithothamne à une dose de 430 kg/ha est réalisé tous les ans en début de saison.



Malgré des pratiques d'apports modérés mais réguliers, les taux d'azote nitrique observés sont faibles. Ils ne sont pas forcément représentatifs de ce qui est observé à l'échelle de la rotation. Cependant, le levier d'action à travailler face à ce constat nous paraît être d'introduire davantage d'EV dans la rotation. Une perte par lixiviation conséquente pourrait être responsable en partie des taux faibles observés.

## Bibliographie des annexes

Annexe 1 : Agrobio 35. Panorama Bio : Rapport d'activité Agrobio 35. 2017, p. 5.

Annexe 2 : VIAN J-F. Les Matières Organiques des Sols : Rôles et fonctions en agriculture. AGRECINA. Lyon, 04 octobre 2017.

Annexe 3 : FRAB. Base de données du logiciel Orgaleg. 2015

Annexe 4:

ALIZADE Marziyeh, HOSSEINI Mojtaba, MODARRES AWAL Mehdi, GOLDANI Morteza, HOSSEINI Afsane. Effects of nitrogen fertilization on population growth of two-spotted spider mite. *Systematic and Applied Acarology*, [en ligne]. 2016, Vol. 21, n° 7, pp. 947. Disponible sur : 10.11158/saa.21.7.8 ISSN 1362-1971. [Consulté le 19 août 2018].

CHEN Ying-Zhi, LIN Li, WANG Chih-Wei, YEH Chin-Chang, HWANG Shaw-Yhi. Response of Two Pieris (Lepidoptera: Pieridae) Species to Fertilization of a Host Plant. [en ligne]. *Zoological Studies*, 2004, pp. 9. Disponible sur : <http://zoolstud.sinica.edu.tw/Journals/43.4/778.pdf> [Consulté le 19 août 2018].

DEVELASH, R. K., SUGHA, S. K. Factors affecting development of downy mildew (*Peronospora destructor*) of onion (*Allium cepa*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 1997. Vol.67. No.2 pp.71-74. ref.16.

HOFFLAND Ellis, VAN BEUSICHEM Marinus L., JEGER Michael J. Nitrogen availability and susceptibility of tomato leaves to *Botrytis cinerea*. *Plant and Soil*, 1999, Vol. 210, n° 2, pp. 263–272.

HUNT David W. A., DRURY Craig F., MAW H. Eric L. Influence of Nitrogen on the Performance of Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on Tomato. *Environmental Entomology*, [en ligne]. 1992, Vol. 21, n° 4, pp. 817-821. Disponible sur : 10.1093/ee/21.4.817 [Consulté le 19 août 2018]. ISSN 1938-2936, 0046-225X.

JAUSET A. M., SARASUA M. J., AVILLA J., ALBAJES R. The impact of nitrogen fertilization of tomato on feeding site selection and oviposition by *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, [en ligne]. 1998, Vol. 86, n° 2, pp. 175-182. Disponible sur : 10.1046/j.1570-7458.1998.00278.x ISSN 0013-8703, 1570-7458. [Consulté le 19 août 2018].

JUÁREZ H S, AMARO J R, RIVERA M D, PÁRRAGA A, HIJMANS R J. The Effect of Nitrogen Fertilization on Potato Late Blight in the Field, [en ligne]. CIP Program Report 1999 – 2000. pp. 8. 2000. Disponible sur :

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.578.627&rep=rep1&type=pdf>  
[Consulté le 19 août 2018].

LECOMPTE F., ABRO M-A., NICOT P-C. Contrasted responses of *Botrytis cinerea* isolates developing on tomato plants grown under different nitrogen nutrition regimes. *Plant Pathology*, [en ligne]. 2010, Vol. 59, n° 5, pp. 891-899. Disponible sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-3059.2010.02320.x> [Consulté le 18 avril 2018]. ISSN 1365-3059.

MALIK M. F., NAWAZ M., ELLINGTON J., SANDERSON R., EL-HENEIDY A. H. Effect of Different Nitrogen Regimes on Onion Thrips, *Thrips tabaci* Lindemann, on Onions, *Allium cepa* L. *Southwestern Entomologist*, [en ligne]. 2009, Vol. 34, n° 3, pp. 219-225. Disponible sur : 10.3958/059.034.0303 ISSN 0147-1724, 0147-1724. [Consulté le 19 août 2018].

MEGALADEVI P., PALLAVI D., MANJUNATHA M., APPA Sharanabas. Effect of Nitrogen Fertilizer on Population of Aphid [Brevicoryne brassicae (L.)] in Radish. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, [en ligne]. 2018, Vol. 7, n° 2, pp. 142-148. Disponible sur : <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.018> [Consulté le 19 août 2018].

MITTELSTRÄß K., TREUTTER D., PLEßL M., HELLER W., ELSTNER E. F., HEISER I. Modification of Primary and Secondary Metabolism of Potato Plants by Nitrogen Application Differentially Affects Resistance to *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani*. *Plant Biology*, [en ligne]. 2006, Vol. 8, n° 5, pp. 653-661. Disponible sur : 10.1055/s-2006-924085 ISSN 1435-8603, 1438-8677.

MYERS J. H. Effect of Physiological Condition of the Host Plant on the Ovipositional Choice of the Cabbage White Butterfly, *Pieris rapae*. *The Journal of Animal Ecology*, [en ligne]. 1985, Vol. 54, n° 1, pp. 193. Disponible sur : 10.2307/4630 ISSN 00218790. [Consulté le 19 août 2018].

NAVARRETE M., LECOMPTE F., COLLANGE B., TCHAMITCHIAN M. Systèmes de culture et qualité de la laitue Comment repenser les systèmes de culture pour réduire l'usage de pesticides et les risques de résidus ? *Innovations Agronomiques*, 2010, Vol. 9, pp. 67-84.

RAYNAL C., JULHIA L., NICOT P. Fertilisation et sensibilité des cultures de laitue et de tomate aux bioagresseurs. *Innovations Agronomiques*, 2014, Vol. 34, pp. 1-17. [en ligne]. Disponible sur : <https://www6.inra.fr/ciag/content/download/5221/40853/file/Vol34-1-Raynal.pdf> [Consulté le 18 avril 2018]. ISSN 1365-3059.

SLANSKY Frank, FEENY Paul. Stabilization of the Rate of Nitrogen Accumulation by Larvae of the Cabbage Butterfly on Wild and Cultivated Food Plants. *Ecological Monographs*, [en

ligne]. 1977, Vol. 47, n° 2, pp. 209-228. Disponible sur : 10.2307/1942617 ISSN 00129615. [Consulté le 19 août 2018].

Les sources suivantes ont été utilisées par l'intermédiaire du travail de synthèse présent dans RAYNAL C., NICOT P. Fertilisation et santé des plantes. Recherches et Innovations Technologiques. [en ligne]. Drummondville, 13 et 14 février 2012 Disponible sur : [http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/Raynal\\_1%5B1%5D.pdf](http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/Raynal_1%5B1%5D.pdf) [Consulté le 04 mai 2018].

CANADAY C.H. WYATT J.E. Effects of nitrogen fertilization on bacterial soft rot in two broccoli cultivars, one resistant and one susceptible to the disease. *Plant Dis*, 1992, Vol. 76, pp. 989-991.

DUFFY B. K., DÉFAGO Geneviève. Macro-and microelement fertilizers influence the severity of Fusarium crown and root rot of tomato in a soilless production system. *HortScience*, 1999, Vol. 34, n° 2, pp. 287–291.

ELMER W. H. Classification of *Fusarium oxysporum* f sp *asparagi* into vegetatively compatible groups. *Phytopathology* [en ligne], 1989, Vol. 79, n° 11, pp. 88-93. Disponible sur : [https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1989Articles/Phyto79n01\\_88.PDF](https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1989Articles/Phyto79n01_88.PDF) [Consulté le 04 mai 2018].

ELMER W. H. Comparison of plastic mulch and nitrogen form on the incidence of *Verticillium* wilt of eggplant. *Plant disease*, 2000, Vol. 84, n° 11, pp. 1231–1234.

ELMER W. H., LAMONDIA James A. Influence of ammonium sulfate and rotation crops on strawberry black root rot. *Plant Disease*, 1999, Vol. 83, n° 2, pp. 119–123.

KLASSE, H. CALCIUM CYANAMIDE - AN EFFECTIVE TOOL TO CONTROL CLUBROOT - A REVIEW. *Acta Hortic.* 1996. N°407, pp. 403-410

MACKENZIE D.R. Association of potato early blight, nitrogen fertilizer rate, and potato yield. *Plant Disease*, 1981, Vol. 65. pp. 575-577

PUNJA Z.K., CARTER J.D., CAMPBELL G.M., ROSELL E.L. Effects of calcium and nitrogen fertilizers, fungicides, and tillage practices on incidence of *Sclerotinia rolfsii* on processing carrots. *Plant Disease*, 1986, Vol.70, pp. 819-824.

TRILLAS-GAY M.I., HOITINK, H.A.J., MADDEN L.V. Nature of suppression of *Fusarium* wilt of radish in a container medium amended with composted hardwood bark. *Plant Disease*. Vol. 70, pp. 1023-1027.

VAN BRUGGEN ARIENA HC, JOCHIMSEN KENNETH N., BROWN PHILIP R. *Rhizomonas suberifaciens* gen. nov., sp. nov., the causal agent of corky root of lettuce. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 1990, Vol. 40, n° 2, pp. 175-188.

WORKNEH F., VAN BRUGGEN, A.H.C., DRINKWATER, L.E., SHENNAN, C. Variables associated with corky root and *Phytophthora* root rot of tomatoes in organic and conventional farms. *Phytopathology*. 1993, Vol.83, pp. 581-589.

WORKNEH F., VAN BRUGGEN, A.H.C., Suppression of corky root of tomatoes in soils from organic farms associated with soil microbial activity and nitrogen status of soil and tomato tissue. *Phytopathology*. 1994, Vol.84, pp. 688-694.

Les sources suivantes ont été utilisées par l'intermédiaire du travail de synthèse présent dans HUBER D.M., Watson R.D., 1974. Nitrogen form and plant disease. Annual Review of Phytopathology, 1974, Vol. 12, pp. 139-165

a BAWDEN, F. C., KASSANIS, B. Some effects of host nutrition on the susceptibility of plants to infection by certain viruses. *Ann. Appl. Biol.* 1950, Vol.37, pp.46-57

b BAWDEN, F. C., KASSANIS, B. Some effects of host plant nutrition on the multiplication of viruses. *Ann. Appl. Biol.* 1950, Vol.37, pp.215-228

BLAKEMAN, J. P. The chemical environment of the leaf surface in relation to growth of pathogenic fungi. In *Ecology of Leaf Surface Micro-organisms*, ed. T. F. Preece, C.A. Dickenson, New York: Academic, 1971, 640 pp. pp. 255-268

CHASE, F. E., CORKE, C. T., ROBINSON, J. B. Nitrifying bacteria in soil. In: *The Ecology of Soil Bacteria*. ed. T. R. G. Gray, D. Parkinson, Toronto: Univ. Toronto Press, 1968, 681 pp. pp.593-611.

EASTON, G. D. The results of fumigating *Verticillium* and *Rhizoctonia* infested potato soils in Washington. *Am. Potato.* 1964, Vol. 41, pp. 296

GALLEGLY, M. E. Jr., Walker, J. C. Plant nutrition in relation to disease development. V: Bacterial wilt of tomato. *Am. J. Bot.* 1949, Vol. 36, pp. 613-623

GUTHRIE, J. W. Early dying (*Verticillium* wilt) of potatoes in Idaho. *Idaho Agr. Exp. Sta. Res. Bull.* 1960, Vol. 45. 24 pp.

HUBER, D. M. How nitrogen affects soil-borne diseases. *Crops Soils.* 1966, Vol.18, pp. 10-11

HUBER, D. M., WATSON, R. D. Effect of organic amendment on soil-borne plant pathogens. *Phytopathology*. 1970, Vol.60, pp. 22—26

HUBER, D. M, WATSON, R. D. Nitrogen form and plant disease. *Down Earth*. 1972, Vol.27, pp. 14-15

HUBER, D. M., WATSON, R. D., STEINER, G. W. Crop residues, nitrogen and plant disease. *Soil Sci.* 1965, Vol.100, pp. 302-308

LAPWOOD, D. H., DYSON, P. W. An effect of nitrogen on the formation of potato tubers and the incidence of common scab (*Streptomyces scabies*). *Plant Pathology*. 1966, Vol.15, pp. 9-14

MAURER, C. L. Effect of carbon substrates and carbon to nitrogen ratio on bean root rot. MS thesis. Colorado State Univ. Fort Collins. 1962. 50 pp.

a PAPAVIZAS G. C., DAVEY, C. B., Effect of dry mature plant materials and nitrogen on *Rhizoctonia solani* in soil. *Phytopathology*. 1960, Vol. 50, pp. 522-525

b PAPAVIZAS, G. C., DAVEY, C. B. *Rhizoctonia* disease of bean as affected by decomposing green plant 'materials and associated microflora. *Phytopathology*. 1960, Vol.50, pp. 516-522

PAPAVIZAS, G. C. Microbial antagonism in bean rhizosphere as affected by oat straw and supplemental nitrogen. *Phytopathology*. 1963, Vol.53, pp. 1430-1435

PAPAVIZAS, G. C. Survival of rootinfecting fungi in soil. XI: Survival of *Rhizoctonia solani* as affected by inoculum concentration and various soil amendments. *Phytopathol. Z.* 1969, Vol. 64, pp. 101-111

POTTER, H. S., NORRIS, M. G., LYONS, C. E. Potato scab control studies in Michigan using N-Serve nitrogen stabilizer for nitrification inhibition. *Down Earth*. 1971, Vol 27(3), pp. 23-24

SANFORD, G. B. Effect of various soil supplements on the virulence and persistence of *Rhizoctonia solani*. *Sci. Agr.* 1947, Vol.27, pp. 533-544

SNYDER, W. C., SCHROTH, M. N., CHRISTOU, T. Effect of plant residues on root rot of bean. *Phytopathology*. 1959, Vol. 49, pp. 755-756

SOL, H. H. Meded. Landbouwhogesch. Opzoekingssta. Staat Gent. 1967, Vol.32, pp.768-775

WALKER, J. C., GALLEGLY, M. E., BLOOM, J. R., SHEPHERD, R. D. Relation of plant nutrition to disease development. VIII: *Verticillium* wilt of tomato. *Am. J. Bot.* 1954, Vol. 41, pp. 760-762

WALKER, J. C. Soil management and plant nutrition in relation to disease development. *Soil Sci.* 1946. Vol. 61, pp. 47-54

WATSON, R. D. Influence of nitrogen on potato scab in Idaho soils. *Phytopathology.* 1966, Vol. 56, p.152 (Abstr.)

WEINKE, K. E. Influence of nitrogen on the root disease of bean caused by *Fusarium solani f phaseoli*. PhD thesis. Univ. Calif., Berkeley. 1962. 150 pp.

WILHELM, S. The inoculum potential of *Verticillium albo-atrum* as affected by soil amendments. *Phytopathology.* 1950, Vol. 40, pp. 970-974

WILHELM, S. Is *Verticillium alboatrum* a soil invader or a soil inhabitant. *Phytopathology.* 1951, Vol. 41, pp.944-945

WILLIAMS, F. J. Antecedent nitrogen sources affecting virulence of *Colletotrichum phomoides*. *Phytopathology.* 1965, Vol.55, pp.333-335

Annexe 5 :

Sobac. Fiche technique bacteriosol UAB concentré. [en ligne]. Disponible sur :  
[https://www.sobac.fr/sites/default/files/upload/agriculture/FICHES%20PRODUITS%20AGRICOLE/171210%20FICHE%20TECHNIQUE%20BACTERIOSOL%20CONCENTRE%20UAB\\_0.pdf](https://www.sobac.fr/sites/default/files/upload/agriculture/FICHES%20PRODUITS%20AGRICOLE/171210%20FICHE%20TECHNIQUE%20BACTERIOSOL%20CONCENTRE%20UAB_0.pdf) [Consulté le 23 avril 2018].

CAMN. Catalogue\_pbi\_compress.2013. [en ligne]. Disponible sur :  
[http://www.camn.fr/media/catalogue\\_pbi\\_compress\\_\\_014540000\\_1444\\_10062013.pdf](http://www.camn.fr/media/catalogue_pbi_compress__014540000_1444_10062013.pdf)  
[Consulté le 23 avril 2018].

Hortalis. Bochevo. [en ligne]. Disponible sur :  
[http://www.hortalis.fr/hortalis/amfilerating/file/download/file\\_id/233/](http://www.hortalis.fr/hortalis/amfilerating/file/download/file_id/233/) [Consulté le 23 avril 2018].

Jardins animés. Algo-Forestier - compost fertilisant - lot de 3 sacs. [en ligne]. Disponible sur :  
<https://fr.jardins-animes.com/algo-forestier-compost-fertilisant-lot-sacs-p-227.html#tab1>  
[Consulté le 23 avril 2018].

SAS Laboratoire. Analyse du compost de la ville de Rennes. 2013.

Annexe 6 : Agrobio 35. Fiche protocole test Nitrachek. 2016. pp 1-2.

Annexe 8 : Chambre d'agriculture Région Nord Pas de Calais. Les effluents d'élevage mieux les connaître pour bien les valoriser [en ligne]. 2013. p. 8. Disponible sur : [https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Hauts-de-France/028\\_Inst-Nord-Pas-de-Calais/Telechargements/Recyclage/les-effluents-delevage.pdf](https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Hauts-de-France/028_Inst-Nord-Pas-de-Calais/Telechargements/Recyclage/les-effluents-delevage.pdf) [Consulté le 23 avril 2018].

Annexe 9 :

APREL. Analyses de sol « extrait à l'eau » en maraîchage sous abri. [en ligne]. 2005. Disponible sur : [https://www.aprel.fr/pdfClasse/0eau\\_2005.pdf](https://www.aprel.fr/pdfClasse/0eau_2005.pdf) [Consulté le 05 septembre 2018].

CTIFL. AZOPRO Le site de minéralisation des produits organiques. [en ligne]. 2018. Disponible sur : <http://www.ctifl.fr/azopro/default.aspx> [Consulté le 14 août 2018].

Chambre d'agriculture Région Nord Pas de Calais. Guide du calcul de la fertilisation azotée des cultures légumières. [en ligne]. 2013. p. 8. Disponible sur : <http://www.maraibio.fr/medias/files/notice-ferti-legumes-ca-npc-2013.pdf> [Consulté le 23 avril 2018].

COMIFER. Guide méthodologique pour l'expérimentation au champ valeur agronomique des produits d'origine non agricole recyclés en agriculture. [en ligne]. Paris, Comifer, 2013, p. 159. Disponible sur :

[http://www.comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE\\_AZOTE\\_20130705web.pdf](http://www.comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE_AZOTE_20130705web.pdf) [Consulté le 23 avril 2018]. ISBN 9782910393090

I.A.C. Fiche technique Melon. 2000. [en ligne]. Disponible sur : [http://pmb.sicac.org/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=109](http://pmb.sicac.org/opac_css/doc_num.php?explnum_id=109) [Consulté le 14 août 2018].

SERAIL. Dynamique des besoins en azote des cultures de plein champ par semaine ou par mois. 1998, pp. 1-2.

VERNIER P. et VARIN D. La culture de la patate douce. Agriculture et développement. [en ligne]. 1994, n° 3. Disponible sur : [https://agritrop.cirad.fr/387073/1/document\\_387073.pdf](https://agritrop.cirad.fr/387073/1/document_387073.pdf) [Consulté le 13 août 2018].

Yara. Fertilisation de la pomme de terre : l'importance de l'azote et du calcium. [en ligne]. 2017. Disponible sur : <https://blog.yara.fr/fertilisation-pomme-de-terre-azote-calcium> [Consulté le 14 août 2018].

Auteur : Lilian DELPECH	Année 2017-2018	Confidentiel : Non Thème : Recherche/Développement
<p>Etude des pratiques de fertilisation azotée en maraîchage biologique diversifié Cas d'un groupe de douze maraîchers en Ille et Villaine</p> <p>Study of nitrogen fertilization practices in organic market gardening Case of a group of twelve farmers in Ille et Villaine</p> <p><b>Maraîchage diversifié – Agriculture biologique - Minéralisation de l'azote – Bioagresseurs</b></p> <p><b>Market gardening - Organic farming - Nitrogen mineralization – Bioaggressors</b></p> <p>Le raisonnement de la fertilisation azotée apparaît comme particulièrement complexe en maraîchage biologique diversifié. Un groupe de douze producteurs d'Ille et Villaine animé au sein du dispositif DEPHY ferme travaille cette thématique en lien avec la santé des plantes depuis 2016. Cette étude s'appuie sur une analyse des systèmes de culture chez les douze maraîchers et des suivis des taux de nitrates des sols sur une culture de chaque ferme. Une tentative d'établissement de liens entre pression des bioagresseurs rencontrés par les maraîchers et fertilisation azotée a aussi été réalisée. Les analyses des courbes des taux de nitrates permettent de mieux comprendre les dynamiques de minéralisation de l'azote ainsi que la satisfaction des besoins azotés des légumes cultivés par le groupe. Un essai de fertilisation comparant deux doses de deux types d'amendements organiques sur une culture de chou a également été mis en place. Les premiers résultats mettent en évidence un effet de la fertilisation sur la minéralisation et montrent un taux d'azote supérieur pour la modalité non fertilisée permettant de mieux comprendre la minéralisation de ces deux amendements et l'observation éventuelle d'une différence de rendement. Les liens entre bioagresseurs et pratiques de fertilisation azotée n'ont pas pu être mis en évidence clairement.</p> <p>Nitrogen fertilization reasoning appears to be particularly complex in diversified organic market gardening. A group of twelve farmers from Ille and Villaine, France, work on this topic linked to plant health since 2016. This study is based on an analysis of a market gardening system and monitoring of soil nitrate levels of a crop on each farm. An attempt to establish links between pressure of bioaggressors encountered by market gardeners and nitrogen fertilization has also been made. The analyzes of nitrate rate curves has contributed to better understand nitrogen mineralization dynamics as well as the satisfaction of the nitrogen requirements of the vegetables grown by the group. A cabbage fertilization test comparing two doses of two organic amendments has been conducted. The first results highlight an effect of the fertilization on the mineralization and show a higher nitrogen level for the unfertilized modality, helping to better understand the mineralization of these two organic amendments and a possible difference in yield. The links between bioaggressors and nitrogen fertilization practices could not be clearly demonstrated.</p>		
Nombre total de volume(s) : 1		
Nombre total de pages du document principal : 66		
Demandeur : Agrobio35		