

<b>CA1 – Système de culture de carotte en Aquitaine</b>
---------------------------------------------------------

Intitulé du cas-type	Système de culture de carotte en Aquitaine – CA1
Localisation	Département de la Gironde et des Landes
Type de sol	Sableux
Type de climat	Moyenne climatique 2007-2016
Rotation	Carotte - maïs grain*3 - maïs doux - carotte primeur - carotte saison
Pratiqué ou prototype	Prototype haricot vert et poireau peuvent faire partie de la rotation ici remplacés par du maïs grain
Contact	Vaud Elise et Bourdenx Brice, CTIFL

<b>I. Contexte</b>
--------------------

**a. Localisation et présentation générale du SdC**

**i. Contexte agricole et enjeux de l'azote (et autres) dans cette situation**

Le territoire des Landes de Gascogne est majoritairement recouvert par des forêts de pins maritimes. L'activité agricole, disséminée en îlots au sein du massif forestier, y occupe une faible part de l'espace (1/5 de la superficie).

Certaines terres agricoles sont concernées par la délimitation des zones vulnérables à la pollution par les nitrates d'origine agricole du bassin Adour-Garonne plus précisément le bassin de la Leyre. Dans ces zones, des programmes d'actions sont mis en place.

**ii. Systèmes de culture (SdC)**

Le cas-type décrit un système de culture chez un producteur de la commune de Cestas (33). Dans les Landes, la production de maïs (grain et semence) est dominante mais de nombreuses exploitations se diversifient et notamment avec des cultures légumières de plein champ (carottes, haricots verts, maïs doux, asperges, poireaux, pommes de terre, etc.).

Les parcelles sont suffisamment grandes pour être mécanisables et sont équipées de systèmes d'irrigation. Ces productions contractualisées s'appuient sur une industrie agro-alimentaire développée dans la région. La rotation s'effectue sur 6 années avec une culture de maïs doux, une double culture de carotte, une culture de haricot vert, une culture de maïs grain et une culture de poireau. Dans le modèle, les cultures de haricot, poireau et maïs doux ne sont pas paramétrées. C'est pourquoi, elles sont remplacées par du maïs grain.

En culture de carotte, la gestion de l'azote est le plus souvent pilotée par l'objectif de rendement. Les agriculteurs sont sensibilisés aux effets qu'une surfertilisation pourrait engendrer :

- des teneurs en nitrates à la récolte supérieures à 200 mg/kg de matière fraîche (seuil à ne pas dépasser dans le cadre de contrats pour l'alimentation infantile)
- une plus forte sensibilité aux maladies du feuillage
- un impact environnemental

Ils ont donc pour objectif principal de maximiser la production, tout en gardant une bonne efficacité de l'azote afin de limiter les coûts de production et de garantir une bonne qualité de récolte. La majeure partie des producteurs de carotte du bassin landais met en œuvre la méthode PILazo® pour gérer la fertilisation azotée.

Dans ce cas type, dont l'objectif est de mieux comprendre les dynamiques de l'azote (N) sous carottes dans des systèmes légumiers des Landes, seules les cultures de carottes ont fait l'objet d'un

suivi sur le terrain (prélèvements sol et plantes). Les cultures de maïs sont issues des pratiques moyennes. Le suivi de la parcelle, servant de support pour l'élaboration du cas-type, a été instauré afin de valider les modèles de carotte (carotte primeur et carotte de saison).

## b. Climat

### i. Pluviométrie : mensuelle et fréquentielle

La pluviométrie annuelle est relativement importante, entre 800 et 1000 millimètres. Les pluies, apportées par les perturbations en provenance de l'océan Atlantique, sont réparties tout au long de l'année, bien que l'hiver soit la période la plus arrosée (cf. figure 1).

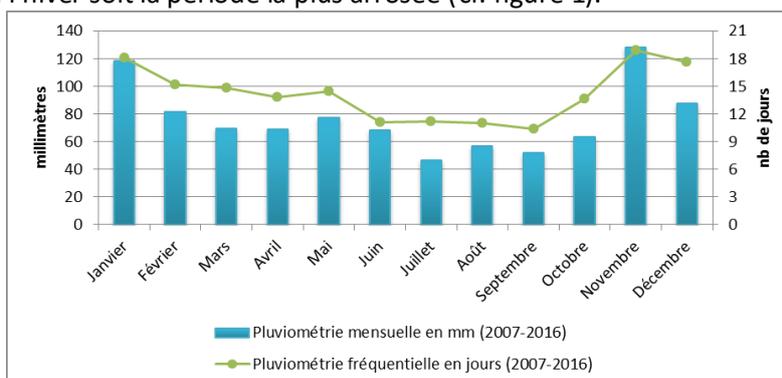


Figure 1 : Pluviométrie moyenne enregistrée pour la période 2007-2016 à la station météorologique du campus Forêt-Bois de l'INRA à Cestas (33).

### ii. Température, ETP

La région bénéficie d'un climat océanique : les hivers sont doux et les étés généralement chauds (cf. figure 2).

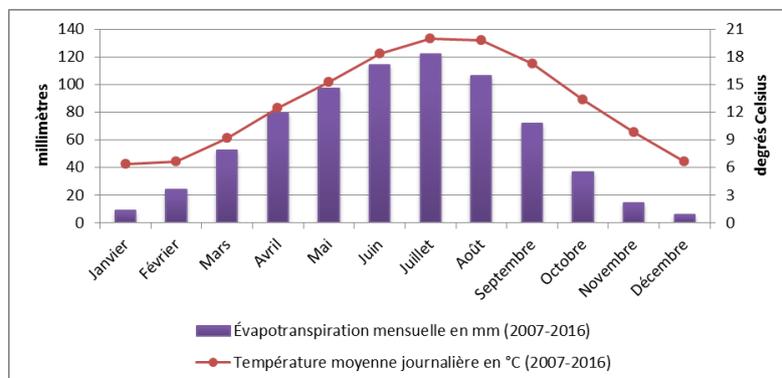


Figure 2 : Température moyenne et ETP enregistrées pour la période 2007-2016 à la station météorologique du campus Forêt-Bois de l'INRA à Cestas (33).

## c. Sol sur lequel est « testé » le SdC

Le système de culture est implanté sur un sol podzolisé dit des sables landais. La RFU est faible 20-50 mm.

Tableau 1 : Principales caractéristiques du sol.

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	pH <sub>eau</sub>
0-60	3.3	4.3	94.4	1.35	0		2,4	13.8	6

## II. Le système de culture (SdC)

Dans les simulations, le maïs doux, le haricot et le poireau sont remplacés par du maïs grain :

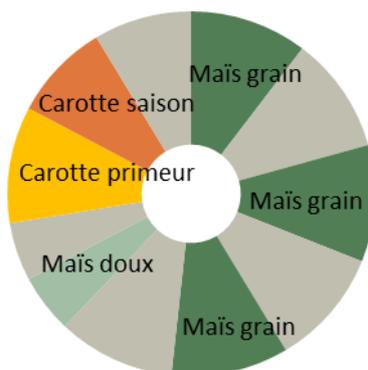


Figure 3 : Rotation de 5 ans de cultures maïs-carotte (sol nu en gris) sur Syst'N

L'itinéraire technique de chaque culture est précisé dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Itinéraire technique de chaque culture de la rotation.

	Implantation et travail du sol	Stratégie de fertilisation	Irrigation	Récolte et niveau de rendement
Maïs grain (cycle raccourci comme maïs doux)	Implantation en mai en combiné avec outil à dents et disques avec au préalable 1 passage d'outil à disque et un labour	250 U d'N fractionnées en 4 apports du semis jusqu'à 1 mois de la récolte	11mm*27 tours d'eau (200 à 300 mm apportés en fonction de l'année)	Récolte mi-septembre Rendement 100 q/ha
Carotte primeur	Implantation début décembre en combiné avec le rouleau et le cultirateur pour la formation des planches, en amont travail superficiel du sol 2 passages d'outils à dents et à disques 2 passages d'outils de travail plus profond (30-40 cm) et un labour avant semis. 2-3 binages après débâchage fin mars -mi avril	20-30 U d'N apportées au semis puis fractionnement en 3-4 apports de 20 U d'N chacun à partir du débâchage	10-15 mm par tour d'eau répartis en une dizaine de passages	Récolte fin mai Rendement 50 t/ha
Carotte de saison	Implantation mi juin début juillet en combiné avec un outil à dents et à disque et formation des planches, en amont travail superficiel du sol 2 passages d'outils à dents et à disques 2 passages d'outils de travail plus profond (30-40 cm) avant semis. 2 binages en aout	30 U d'N apportées au semis puis 2 apports de 20 U d'N	Jusqu'à 1 tour tous les 2 jours 10-15mm/tour du semis à l'automne	Récolte mi-novembre Rendement 60 à 80 t/ha Couverts intercultures Conservation horizontale
Maïs grain	Implantation mi avril en combiné avec outil à dents et disques après outil à disque fin octobre et labour mi-mars	220 U d'N fractionnées en 2 apports semi et 1 mois après semi	25 mm par tour d'eau répartis en 12 passages ou 11mm * 27 tours d'eau (200 à 300 mm apportés selon l'année)	Récolte mi-octobre Rendement 125 q/ha

Le sol sableux étant un sol filtrant, le producteur fractionne ses apports sur carottes en 3 apports de 20 à 30 U d'azote. Ce fractionnement a pour objectif de faire les apports au plus près des besoins de la culture et de limiter les pertes par lixiviation. Les rendements obtenus pour les légumes, comme pour le maïs, sont au-dessus des moyennes régionales. L'azote est apporté uniquement sous forme minérale. Entre les cultures de maïs le sol reste nu d'octobre à avril (cf. Figure 3). Les engrais utilisés pour les différents apports fractionnés au semi ou en cours de culture sont des engrais minéraux : ammonitrate et urée.

### III. Résultats attendus en termes de pertes d'azote

#### a. Variables de pertes d'azote à l'échelle du système de culture

Les apports de fertilisants sur la parcelle étudiée sont sous forme minérale. Les pertes d'azote peuvent donc se faire par volatilisation ammoniacale ou par lixiviation de nitrates. Les apports d'urée étant suivis d'irrigation et le sol présentant un pH bas, les pertes par volatilisation ammoniacal sont peu susceptibles de se produire. De plus, le sol sableux est un sol filtrant à faible réserve utile, qui est sensible à la lixiviation des nitrates.

#### b. Seuils de pertes d'azote

Le SdC est évalué en fonction d'une cette grille d'interprétation commune à tous les SdC du projet (Tableau 3).

Tableau 3 : Seuils de satisfaction croisés des pertes de nitrate et pertes d'ammoniac.

Seuils de pertes	Volatilisation d'ammoniac : > 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : 5 % à 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : < 5 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)
Lixiviation de nitrate : < 5 kg N/100 mm de lame d'eau drainante			
Lixiviation de nitrate : 5 à 10 kg N/100 mm de lame d'eau drainante			
Lixiviation de nitrate : > 10 kg N/100 mm de lame d'eau drainante			

**Légende :**

	Haute performance azotée (HPN)
	Performance azotée partielle
	Basse performance azotée

### IV. Présentation des simulations réalisées avec Syst'N®

La rotation initiale (maïs doux - carotte primeur - carotte de saison - haricot vert - maïs grain - poireau) présente de nombreuses cultures non paramétrées sur Syst'N. Ces cultures ont été remplacées dans Syst'N par du maïs grain, culture cultivée à la même période et très répandue dans la région.

La rotation simulée dans Syst'N étant assez éloignée de la rotation réelle, les mesures ont été exclusivement réalisées sur les deux cultures de carotte.

Des mesures ont été faites sur la culture à différents stades de développement : rendements, biomasse des feuilles et des racines, concentration en azote des feuilles et racines. De plus, une analyse de sol a été faite en début de campagne et un suivi de reliquat sur 0-30 cm a été effectué en cours de croissance jusqu'à la récolte.

L'ensemble de ces données permettent d'évaluer le modèle pour la culture de carotte.

La simulation a été réalisée avec les données météorologiques moyennées de 2007 à 2016 de la station de Cestas (proche de la parcelle).

## V. Evaluation des pertes d'azote

### a. Présentation des résultats moyens du système de culture :

Les flux d'azote moyens à l'échelle du système de culture sont présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 4 : Flux moyens d'azote total simulés à l'échelle du champ cultivé sur l'ensemble de la rotation (kgN/ha/an)

a	<b>Entrées d'azote (kgN/ha/an)</b>	a1 : Apport: fertilisation minérale	220
		a2 : Apport: fertilisation organique	0
		a3 : Fixation biologique d'azote	0
b	<b>Sorties d'azote (kgN/ha/an)</b>	b1 : Exportation par les récoltes	212
		b2 : Exportation par les résidus de cultures exportés de la parcelle	0
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		309
d	<b>Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)</b>	d1 : Protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	0
		d2 : Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	30
		d3 : Nitrate lessivé (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	143
		d4 : Nitrate ruisselé (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		452

A partir des flux simulés et présentés dans le Tableau 4 nous sommes en mesure de calculer des indicateurs de performances azoté de cette situation culturale (Tableau 5).

Tableau 5 : Indicateurs retenus pour évaluer les performances azotées de la situation culturale.

<b>a-b</b>	Bilan apparent : Entrées – Sorties par exportation (kgN/ha/an)	8
<b>a - (b+d)</b>	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-165
<b>(d3*100)/e</b>	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	140
<b>(d3*100*4.43)/e</b>	Pertes de nitrates par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /100 mm) ou concentration moyenne en nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) sous le profil (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)	31,6
<b>d2/(a1+a2)</b>	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH <sub>3</sub> ) en % des apports totaux	13,6

Le bilan apparent des flux d'azote (a-b) montre une certaine stabilité du système. Toutefois, la forte concentration en matière organique du sol contrebalance ce bilan. Le modèle Syst'N indique une minéralisation du sol de 309 kgN/ha, ce qui paraît élevé. Le sol du système étudié est un podzosol. Bien que ce sol sableux ait un fort taux de matière organique, la minéralisation du sol a peut-être été surestimée. En effet, la matière organique de ces sols provient en grande partie de l'humus formé par les forêts présentes avant les cultures, ce qui est une matière organique stable, difficile à minéraliser.

### b. Dynamiques et pertes azote : sorties graphiques Syst'N®

La rotation montre des périodes critiques de pertes d'azote par lixiviation (100 à 140 kg N/ha) en hiver et par volatilisation (30 à 60 kg N/ha) en été (Figure 4). Les pertes indiquées sont des moyennes calculées pour chaque culture les années climatiques sur lesquelles la culture concernée est présente.

**N.B. : l'ensemble des Figures présentées ci-après sont disponibles au téléchargement sous format image (png) pour une meilleure lisibilité et plus grande facilité d'utilisation de ces Figures pour le conseil ou la formation.**

CA1 – Système de culture de carotte en Aquitaine

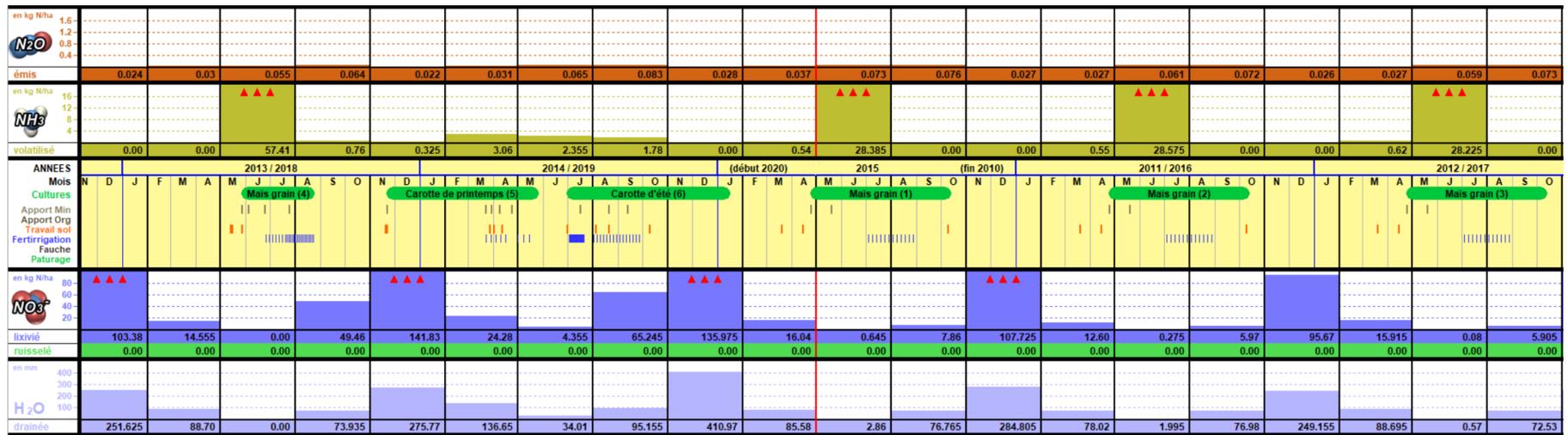


Figure 4 : Pertes d'azote sur la rotation (reproduite à l'infini).

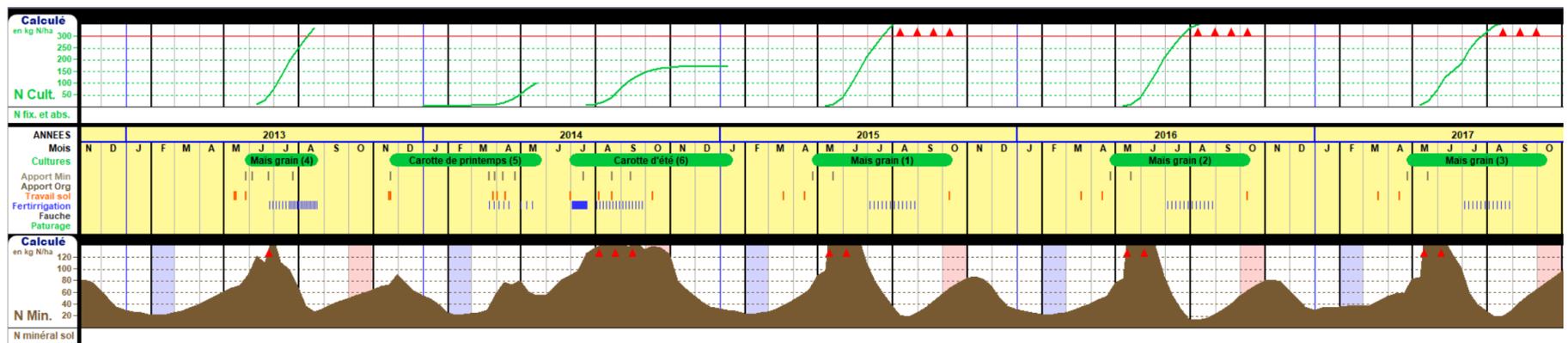


Figure 5 : Dynamique azote / plante / sol et pertes de nitrates - années 1 à 4.

Ces pertes s’expliquent par les successions de cultures d’été et l’absence de couverts pendant l’hiver. Les pluies abondantes pendant l’hiver aboutissent sur des lames d’eau drainantes de 250 à 400 mm pouvant lixivier jusqu’à 140 kg d’N/ha (Figure 4).

De plus, le modèle montre des périodes de volatilisation de mai à juillet sur les cultures de maïs, bien que le pH acide du sol et la forme ammonitrate de l’engrais devrait limiter cette volatilisation. Cette dernière peut s’expliquer par la faible CEC du sol et l’apport à des périodes potentiellement sèches, l’irrigation démarrant seulement en juillet. La volatilisation est amplifiée sur le maïs doux (cf. Maïs grain (4) de la Figure 4), sur lequel la fertilisation est faite sous forme d’urée et de solution azotée.

La culture de carotte implantée en novembre ne permet pas de limiter la lixiviation de l’azote car elle capte peu d’azote en début de cycle (carotte de printemps (5) de la Figure 5). De plus, en période d’été, l’irrigation semble augmenter les risques de lixiviations (carotte d’été de la Figure 5). En effet, la carotte n’absorbe pas tout l’azote fourni par les apports et la minéralisation du sol : plus de 120 kg d’N/ha d’azote minéral est présent dans le sol en été (carotte d’été de la Figure 6).

Sur carotte, les apports d’engrais sont rapprochés des périodes d’irrigation, ce qui limite le risque de volatilisation.

**VI. Discussion des résultats – diagnostic sur les performances azotées et les pertes**

Tableau 5 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type CA1.

Seuils de pertes	Volatilisation d’ammoniac : > 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d’ammoniac : 5 % à 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d’ammoniac : < 5 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)
Lixiviation de nitrate : < 5 kgN/100 mm de lame d'eau drainante			
Lixiviation de nitrate : 5 à 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante			
Lixiviation de nitrate : > 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante	<b>Volatilisation NH3 : 14 % de l'azote total apporté Lixiviation NO3 : 30 kgN/100 mm lame drainante</b>		

**Légende :**

- Haute performance azotée (HPN)
- Performance azotée insuffisante
- Basse performance azotée

D’après le tableau précédent, le système de culture a une basse performance azotée. Cela s’explique par ses fortes pertes d’azote par lixiviation. Ces pertes sont dues à différents facteurs :

- Sol sableux drainant
- Minéralisation importante du sol à la fin de l’été (à la fin du cycle de la culture et en post-récolte) → reliquat post-récolte élevé
- Absence de couverture des sols pendant l’automne/hiver
- Pluies abondantes d’hiver et de printemps qui drainent le reliquat post-récolte

Afin de pallier le problème de lixiviation, des couverts pourraient être intégrés dans le système pendant la période d’automne-hiver. L’implantation d’un couvert après maïs grain peut être délicate si la récolte se fait tardivement (températures faibles pour la croissance du couvert, sol trop humide pour pouvoir entrer dans la parcelle). Modifier la rotation avec des cultures pouvant être récoltées à la fin de l’été permettrait de faciliter l’implantation des couverts.

Remarque : dans la rotation réelle, la culture de haricot et de maïs doux sont récoltés plus tôt et permettraient donc de semer un couvert dès août

Concernant les problématiques de volatilisation sur maïs, il pourrait être intéressant d'irriguer légèrement après les premiers apports si la pluviométrie est inférieure à 10 mm dans les jours qui suivent (cf. recommandations COMIFER).

Remarque : dans la rotation réelle, les apports sur poireau ou haricot seraient plus faibles que ceux sur maïs, ce qui pourrait réduire le risque de perte d'azote si les apports sont faits sous la même forme ammonitrate.

Dans ce modèle, nous pouvons observer, pour la culture de carotte, une diminution de capacité de captation de l'azote minéral du sol fourni au printemps et en été. Nous pouvons émettre l'hypothèse que cette diminution soit liée aux apports et à la minéralisation du sol. Automatiquement, une diminution de captation de l'azote minérale induit une augmentation des pertes par lixiviation. Dans ce cas et dans le cadre de cette hypothèse, les apports d'azote minéral sur la carotte d'été pourraient être optimiser par une réduction ou un apport plus tardif car la fourniture azotée du sol semble être suffisante.

De même, si l'on se réfère à la modélisation, le premier apport de novembre sur carotte de printemps ne semble pas nécessaire. En effet, cela serait concordant avec le fait qu'à cette période, la carotte a des besoins en azote très faibles qui pourraient être couverts par l'azote minéral déjà présent dans le sol.

Remarque : il se pourrait que dans le modèle, l'absorption de l'azote par la carotte pendant l'hiver soit sous-estimé. Des prélèvements sur le terrain ont montré une absorption supérieure pendant l'hiver. Dans ce cas, un léger apport d'azote minéral peut-être justifié.

## VII. Conclusion

Le système de culture évalué dans Syst'N (maïs grain - maïs grain – carotte printemps – carotte été - maïs grain) a une basse performance azotée. Cette succession est différente de la rotation réellement mise en place par le producteur (maïs doux – carotte printemps – carotte été - haricot vert - maïs grain - poireau) car certaines cultures légumières ne sont pas paramétrées dans Syst'N.

La performance insuffisante du système est principalement due aux fortes pertes par lixiviation en automne/hiver. En effet, la succession de cultures d'été et la présence de sols nus en automne/hiver favorise la lixiviation de l'azote lors des fortes pluies d'hiver sur le sol sableux (drainant). Ces pertes pourraient être limitées par une modification de la rotation et en introduisant des couverts lors des périodes critiques.

Néanmoins, dans le cadre du développement d'un nouveaux cas type pour Syst'N, l'objectif de simuler les relations entre la culture de carottes et l'N dans le sol des Landes semble être quasiment atteint. En effet, les options choisies de réaliser des mesures exclusivement sur les cultures de carotte à différents stades de développement, réaliser l'analyse des sols et moyenner sur 9 ans des données météorologiques d'une zone géographique proche de l'essai semblent avoir permis d'accumuler assez de données pour évaluer que la simulation sur Syst'N était correcte. D'un point de vue purement agronomique, nous ne saurons que conseiller de consolider le modèle prédictif de pertes en azote simulé par Syst'N par des répétitions sur plusieurs années (3 ou 4 en plus) afin de mieux comprendre les remarques soulevées dans ce rapport, et en particulier, sur les besoins et l'absorption de l'azote de la culture de la carotte en hiver. Les reliquats en azote dans le sol (en matière organique ou minérale) semblent impacter la culture de carotte et induire des biais dans la simulation.

Cependant, Syst'N remplit son rôle de modélisation et apporte, par des modèles prédictifs, une vision claire de l'intérêt de la gestion de l'N pour chaque type de culture et, plus largement, sur la rotation de cultures sur plusieurs années.