

Nouvelle perspective pour la fertilisation azotée du maïs et de la pomme de terre : plus d'efficacité pour l'agriculture et l'environnement avec la méthode CULTAN

New ways of nitrogen fertilization in corn and potatoes – more efficiency for agriculture and environment with CULTAN.

Maier, Jürgen¹⁾ und Müller-Sämman, Karl²⁾

¹⁾ Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald, Fachbereich Landwirtschaft, Europaplatz 3, 79206 Breisach, email: juergen.maier@lkbh.de

²⁾ Agentur für Nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften (ANNA), Klarastraße 94, 79106 Freiburg, email: km@anna-consult.de

Situation initiale et motivation

Dans le Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald, les reliquats en nitrates des cultures de pomme de terre (env. 600 ha) et dans une moindre mesure aussi des cultures de maïs (avec 100 000 ha environ la moitié de la surface cultivée) représentent aujourd'hui comme hier un risque potentiel d'atteinte à la qualité de la nappe phréatique. Après récolte, on retrouve couramment dans le sol pour une culture de maïs entre 20 et 80 et pour la pomme de terre 50 à 135 kg d'azote/ha sous forme de nitrates. Les teneurs en nitrates de la nappe rhénane qui évoluent entre environ 25 mg/l à 100 mg/l sont pour partie à rapporter aux pertes de nitrates issues de ces deux cultures. Des améliorations dans l'efficacité de l'azote profiteront donc à la nappe, dans le cas du maïs étant donné l'importance des surfaces et pour la pomme de terre avant tout à cause du potentiel de pertes très élevé.

L'introduction de la méthode CULTAN devrait permettre de réduire les pertes en nitrates de ces cultures ainsi que les coûts de fertilisation azotée grâce à une optimisation des pratiques et des économies en temps de travail. La compétitivité de l'agriculture s'en trouverait renforcée. Les risques de sécheresse estivale précoce renforcés par le changement climatique devraient être minimisés par une fertilisation liquide dans le sol. Les émissions de gaz à effet de serre en provenance des apports de fertilisant azotés qui affectent le climat seraient minorés par un apport dans et non sur le sol.

Méthode

Le projet soutenu par le fonds *Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG* consiste à tester la méthode CULTAN en culture de maïs grains de 2008 à 2010 et de pomme de terre de 2009 à 2010 dans la région du Rhin supérieur au sud de Freiburg im Breisgau, en plaine rhénane. Dans chaque essai, conduit en grandes parcelles, la fertilisation azotée conventionnelle pratiquée sur le site sera comparée avec la méthode CULTAN à un niveau d'apport équivalent. Les essais sont situés dans le secteur Freiburger Bucht (Markgräfler Land) à une altitude moyenne d'environ 200 m et se distinguent entre eux volontairement au niveau des types de sols. Chacun des 5 sites sera considéré comme une répétition dans l'analyse statistique de la variance. Les autres interventions ont été réalisées selon les techniques de la pratique usuelle par les agriculteurs locaux.

La méthode CULTAN testée dans les essais présentés reprend la méthode CULTAN mais avec une solution fertilisante à base d'urée et de sulfate d'ammonium (DOMAMON L 26), qui contient au total 20% d'azote pour un tiers sous forme d'ammonium-N et pour 2/3 sous forme d'urée.

Pour ce qui concerne les apports de macro et micro éléments fertilisants, les parcelles d'essais ont été fertilisées selon le niveau de richesse C plus les exportations.

Maïs grain

Les températures moyennes et les pluviométries moyennes annuelles pour les sites d'essais étaient en 2008 de 11,3°C et 1085 mm, 2009 de 11,7 °C et 979 mm. Les sites en maïs sont en place pour 3 ans (cf. Tab. 1), bien que le site M 2 ait toutefois été remplacé en 2009 par un autre car des dégâts de sangliers considérables rendaient difficile la conduite de l'essai.

Tab 1: caractéristiques des sols des sites d'essais en maïs grain (monoculture) 2008-2010

Site	M 1	M 2	M 2 neu	M 3	M 4	M 5
Valeur agro. sol	52	47	58	71	85	83
Nature	Vega (Flusskies)	Paternia	Parabraunerde	Haftpseudogley- Parabraunerde	Pseudogley- Parabraunerde	Parabraunerde
Type (VDLUFA)	Las	Sal	Sal	Las	Las	Las
pH	6,3	5,5	6,2	7,5	7,5	7,5
Humus (%)	2,4	2,9	2,1	1,9	2,0	2,0
C tot (%)	1,4	1,6	1,2	1,1	1,1	1,1
N tot (%)	0,14	0,17	0,11	0,13	0,14	0,14
C : N = : 1	10	9	11	8	8	8

Sur chaque site, tout étant par ailleurs égal dans la conduite de culture, on retrouve les deux variantes comparées – fertilisation azotée conventionnelle avec de l'urée sous forme de granuls et la fertilisation azotée selon la méthode CULTAN (cf. Tab. 2).

Tab. 2: conduite culturale des essais en maïs gains 2008-2010

	conventionnelle	CULTAN
Rotation	Maïs grain (monoculture)	
Travail du sol	Labour hiver (25 cm)	
variété	2008: PR 38 B 85 (K 290) ; 2009:PR 38 A 79 (K 280)	
semis	09.05.2008; 24.04.2009	
Protection culture	Herbicide (post_levée)	
Quantités N apportées	100 % (selon les BPA !!!)	
Fertilisation au semis	2008: 20 kg N/ha (DAP); 2009: 40 kg N/ha (DAP)	
Forme de l'engrais N	urée	urée-sulfate d'ammoniumt
Formulation	solide	liquide
Application	Sur toute la surface	Injection en lignes
Stade d'application	Au semis ; stade 6 feuilles	Au semis

La méthode CULTAN testée consiste en un dépôt en ligne en continu au semis à l'aide de socs d'injection spéciaux, à un espacement de 150 cm entre deux rangs et à une profondeur de 15 cm pour la culture du maïs (cf. Fig. 1) et le dosage exact de la quantité d'engrais à l'aide du pilotage à partir d'un ordinateur embarqué.

Fig 1 :
Méthode CULTAN
sur maïs



Pomme de terre

La température moyenne annuelle et les précipitations annuelles pour les 5 sites d'essais en pomme de terre étaient en 2009 d'environ 10,4 ° C et 743 mm. Les sites d'expérimentation pour la pomme de terre changent chaque année en raison de la rotation habituellement pratiquée maïs – pomme de terre. Les caractéristiques de sols pour les essais de 2009 sont rassemblées dans le tableau 3.

Tab. 3: caractéristiques des sols des essais pomme de terre 2009

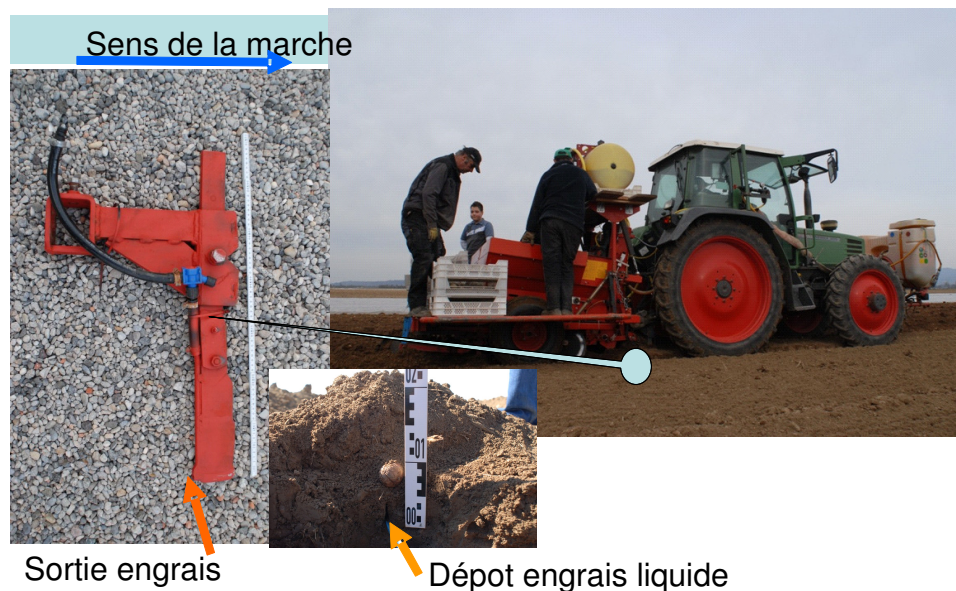
Site	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5
valeur agro. sol	91	92	79	72	42
Nature	Parabraunerde aus Löss	Parabraunerde aus Löss	Braunerde aus alluvialem Lösslehm	Braunerde aus Lösslehm	Regosol aus reliktischem Gley
Type (VDLUFA)	Uf	uL	uL	sL	sL
pH	6,8	6,2	6,7	6,5	6,7
Humus (%)	1,7	1,8	1,8	2,0	1,4
C tot (%)	0,9	1,0	1,0	1,1	0,8
N tot (%)	0,11	0,11	0,11	0,12	0,09
C : N = : 1	9	9	9	9	9

Tab. 4 : conduite culturale des essais pomme de terre 2009

	conventionnelle	CULTAN
rotation		Pomme de terre (après maïs)
Travail du sol		Labour hiver (25 cm)
variété		Berber (tp), lady Rosetta (mp), Marabel (p), Belana (p)
Date de plantation		Identique pour un site/variable selon variété
Protection culture		Interventions identiques pou un site/variable selon variété
Quantité d'N apportée		100 % (selon les BPA !!!)
Forme d'engrais N	ammonitrate	urée-sulfate d'ammonium
Formulation	solide	liquide
Application	Sur toute la surface	Injection en lignes
Stade application	à la plantation	À la plantation

Pour la pomme de terre, le fertilisant de la variante CULTAN été déposé lors de la plantation et en ligne continue à 7-10 cm en dessous des tubercules (cf. Fig. 2) à l'aide d'un soc injecteur spécialement conçu. Le dosage du fertilisant a été fait de la même manière précisément à l'aide d'un ordinateur embarqué.

Fig 2: méthode CULTAN sur pomme de terre



Relevés et mesures

En plus des rendements, des caractéristiques relative à la qualité du produit récolté ont aussi été relevés. La dynamique de l'azote a été appréhendée par 4 séries de mesures des teneurs en nitrates et ammonium pendant la période de végétation. Pour les variantes CULTAN, des prélèvements ont été différenciés selon plusieurs positions dans la culture (cf. Fig. 3).

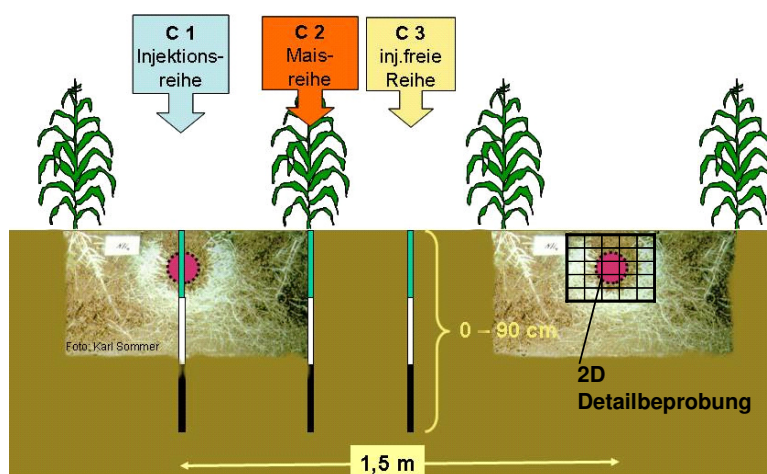


Fig 3: CULTAN-échantillons de sols sur maïs

Les prises d'échantillons ont été différenciées selon leur emplacement dans le rang d'injection, dans le rang de maïs immédiatement voisin et dans les inter-rangs non fertilisés, aux stades 6 feuilles, floraison et après la récolte. Au stade 6 feuilles il a été réalisé de plus sur le site M3 (Tab. 1) un échantillonnage en deux dimensions selon une grille 5 x 5 cm, afin de mesurer les gradients en concentration d'azote.

Dans les essais pomme de terre, il a été différencié dans la variante CULTAN des prises distinctes sur les billons et dans les sillons, à partir de l'enlèvement des couvertures plastiques. Après la récolte, un échantillon moyen représentatif a été prélevé sur l'ensemble de la parcelle.

La mesure de lessivage en nitrates a été faite à l'aide de Selbst-Integrierender Akkumulatoren (SIA). Les résultats sont rassemblés dans la communication “*Fluid fertilizers injection and groundwater protection – Can CULTAN reduce the nitrate leaching in agriculture and in field vegetable cultivation?* (Schwarz et al) dans les actes du colloque.

Résultats

Mais grains (2008 – 2009)

Rendement et caractéristiques du grain : le rendement grain de la variante CULTAN est en moyenne des deux années d'essais au même niveau que la variante « fertilisation traditionnelle » (cf. Tab. 5). En 2008, le rendement pour CULTAN était significativement plus élevé de 9 q/ha.

Tab. 5 : rendement et qualité du grain – maïs (valeurs moyennes sites 2008 – 2009)

		q/ha (85 %MS)	% MS (récolte)	PMG (g)	N (% MS)	P (%MS)	K (%MS)	Mg (%MS)
Conv.-	2008	117	69,9	300	1,5	0,3	0,4	0,1
	2009	114	82,5	308	1,4	0,3	0,4	0,1
	Moy.	115	76,2	304	1,5	0,3	0,4	0,1
CULTAN	2008	126	69,6	314	1,6	0,3	0,4	0,1
	2009	113	82,5	296	1,4	0,3	0,4	0,1
	Moy.	119	76,0	305	1,5	0,3	0,4	0,1
Statistique		Test Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$):						
	2008	3,92	ns	11,11	0,06	ns	ns	ns
	2009	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Moyenne	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Ceci pourrait être rapporté à la moindre sensibilité à la sécheresse de la fertilisation par dépôt à forte dose d'ammonium. En mai et aussi juin 2008, il y a eu un déficit en précipitations, ce qui a pu conduire à une meilleure disponibilité de l'azote apporté sous forme de dépôt par injection dans le sol en comparaison à un apport aérien d'urée. Le PMG et la teneur N du grain étaient aussi significativement plus élevés dans la variante CULTAN. Les macroéléments phosphore, potasse et magnésium ont été stockés dans les graines de manière identique dans les plantes fertilisées avec la méthode CULTAN que dans les plantes fertilisées de manière conventionnelle. Ceci semble donc contrecarrer l'hypothèse souvent avancée que les plantes avec les apports d'azote localisés de CULTAN développent moins de masse racinaire, ce qui nuirait à l'assimilation des autres éléments du sol.

Teneurs en azote dans le sol

Les teneurs en nitrates et ammonium des essais maïs ont été mesurées au stade 6-feuilles, floraison et récolte et sont pour 2008 présentées dans les figures 4 à 6 en moyenne pour les 5 essais. Les valeurs de la variante „conventionnelle“ atteignent des valeurs représentatives pour ces sols tandis que les données CULTAN correspondent aux trois situations localisées (C 1, C 2, C 3).

Fig 4 :

Au **stade 6-feuilles** du maïs (env. 4 semaines après le semis et injection) on pouvait constater de très fortes teneurs en nitrates et ammonium pour la variante CULTAN dans les rangs d'injection C 1. Sous les rangs de maïs et dans les inter-rangs non fertilisés, les valeurs étaient largement inférieures à celles de la variante conventionnelle. La teneur dans l'horizon de surface est en grande partie due à la fertilisation azotée sur le rang au semis.

Fig 5 :

A la **floraison**, c'est à dire à la fin de la phase principale d'absorption de l'azote, les rangs d'injection montrent encore de fortes valeurs plus élevées que la variante conventionnelle, qui a nouveau montre de plus fortes teneurs que les échantillons CULTAN issus des rangs de maïs (C 2) et des interrangs non fertilisés (C 3). L'azote sous forme ammonium des dépôts de CULTAN était à ce moment ~~largement absorbé ou nitrifié.~~

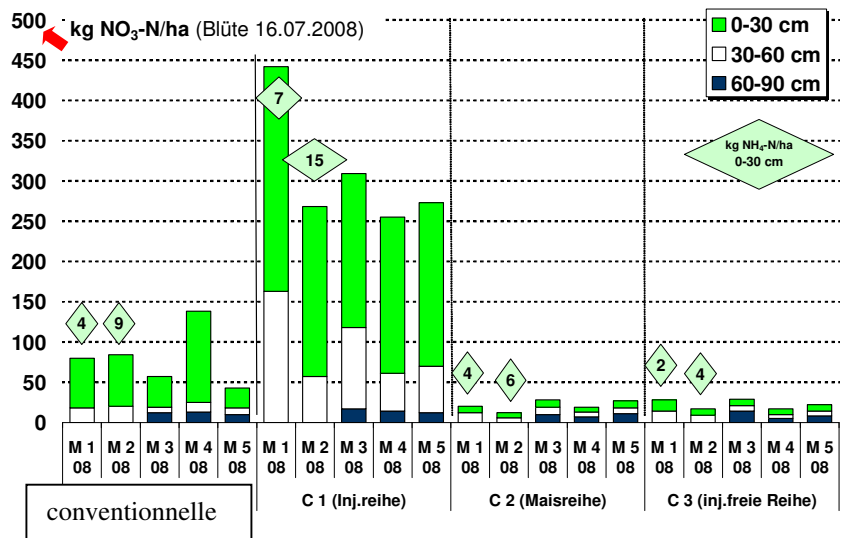


Fig 6 :

Après la **récolte**, les valeurs de nitrates et d'ammonium sont à peu près identiques pour les variantes CULTAN des espaces non fertilisés avec ceux de la variante conventionnelle. Dans les rangs d'injection CULTAN, les concentrations en nitrates sont nettement plus élevées, ce qui laisse penser que les dépôts d'azote ne sont pas totalement épuisés et que la valorisation de l'azote a été plus efficace dans la variante CULTAN.

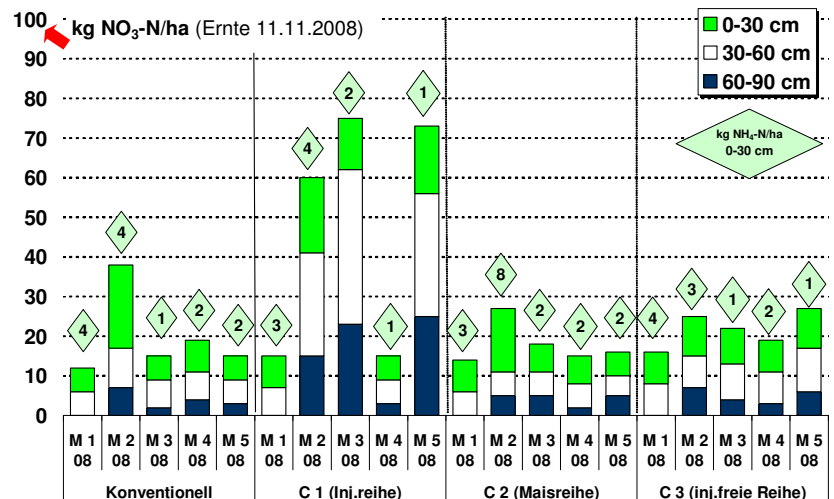
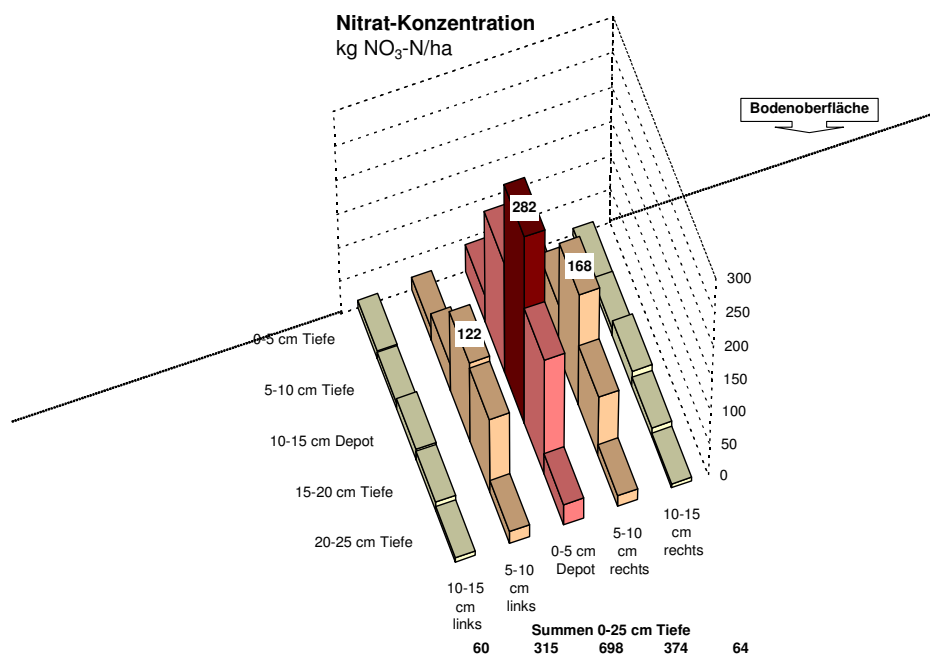


Fig 7 : échantillonnage en deux dimensions du dépôt CULTAN au stade 7 f. du maïs (Site 3 2009)

L'échantillonnage en deux dimensions du dépôt CULTAN

Selon une grille de 5 x 5 cm au stade 7-feuilles du maïs livre des informations sur la qualité du dépôt (précision de l'emplacement) et sur la stabilité de l'azote du dépôt. Au centre de la grille, on retrouve le rang d'injection (profondeur 15 cm), qui montre la plus forte concentration en nitrates 4-5 semaines après le semis et l'injection.



Comme aucun apport d'azote sous forme de nitrates n'a été réalisé, ceux-ci doivent bien être issus de la fraction en urée et en ammonium de la solution injectée. A quelques 10 cm à gauche et à droite du dépôt de fertilisant les concentrations en nitrates sont deux fois plus faibles, et 5 cm plus loin, les concentrations sont divisées par 10. Le dépôt dans le sol limoneux a donc été bien placé et stable.

Pomme de terre (2009)

Rendement et qualité : en moyenne des sites, il n'a pas été constaté lors de la première année d'essais en 2009 de différences de rendement entre les variantes de fertilisation (cf. Tab. 6). La formation de tubercules était plus élevée pour CULTAN, mais à cause de quantités de petites tailles plus élevées (x 2) non récoltables et non commercialisables, le rendement a été finalement ramené au niveau de la pratique „conventionnelle“ (13 tubercules par plante). Au niveau des quantités récoltées commercialisables, il n'y a pas eu de différence significative dans la répartition des calibres.

Tab. 6: rendement et qualité des tubercules – pomme de terre (moyenne des sites 2009)

	Tubercules/Pl.		Qualibrage (%)				Rendt q MF/ha
	> 0 mm	< 30/35 mm	< 30/35 mm	> 30/35 mm	> 60/65 mm	> 70 mm	
conventionnelle	13	2	0	57	43	5	352
CULTAN	17	4	0	63	36	5	345

test Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$):

4 2 ns ns ns ns ns

Pour ce qui concerne la qualité interne des tubercules, aucune différence n'a été mise en évidence entre les deux variantes (cf. Tab. 7). Les notations de la qualité externe des marchandises commercialisables (par ex. tenue de la peau) n'ont pas non plus mis en évidence de différences.

Tab. 7: caractéristiques des tubercules en fonction de la modalité de fertilisation (moyenne de 5 essais, 2009)

	amidon %MS	N total % MS	P % MS	K % MS	Mg % MS
Conventionnelle	73,4	1,3	0,2	2,2	0,1
CULTAN	73,8	1,3	0,2	2,1	0,1

Test Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$):

ns ns ns ns ns

Teneurs en azote dans le sol

Les teneurs du sol en nitrate et ammonium ont été mesurées à deux reprises : après enlèvement des plastiques (pour les variétés précoces) et après récolte. Lors du premier prélèvement, les échantillons ont été pris distinctement entre la butte et le sillon pour les deux variantes testées. Comment le dépôt est pris en compte lors du prélèvement est plus incertain que pour le maïs. Lors du second prélèvement, un échantillon mélangé représentatif de la parcelle d'essai a été pris pour les deux variantes.

Fig 8: teneurs en nitrates et ammonium après enlèvement film plastique – pomme de terre (moyenne des sites 2009)

Après enlèvement des couvertures plastiques (pour les trois variétés précoces) environ 30 jours après la plantation les teneurs en nitrates de la butte pour CULTAN était 7x plus fortes que dans les sillons non fertilisés et environ 2x plus élevées que dans les buttes de la conduite traditionnelle. La teneur en ammonium pour la butte pour CULTAN de l'horizon de surface était aussi presque 8x plus haut que dans le sillon ou que pour la pratique conventionnelle, fertilisée en plein avec de l'ammonitrate. Les valeurs retrouvées dans la butte pour CULTAN montrent qu'un dépôt localisé est encore très stable à cette époque.

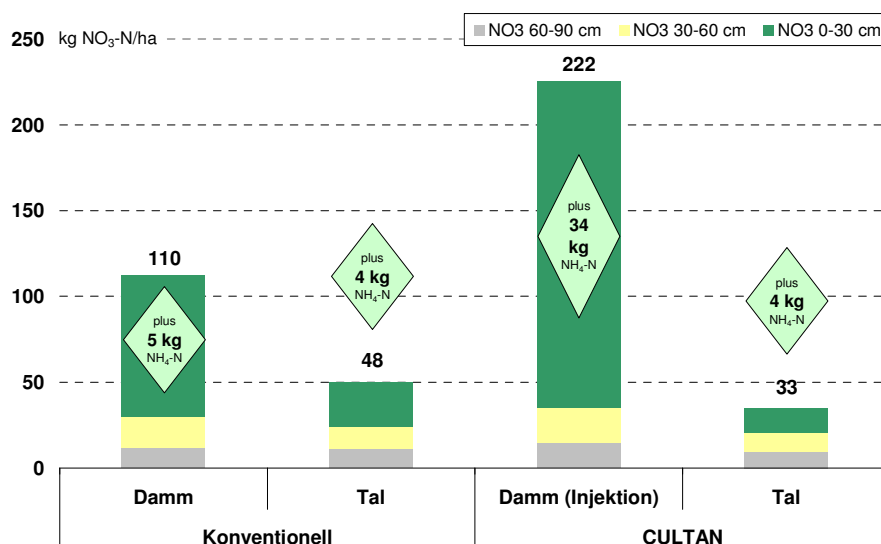
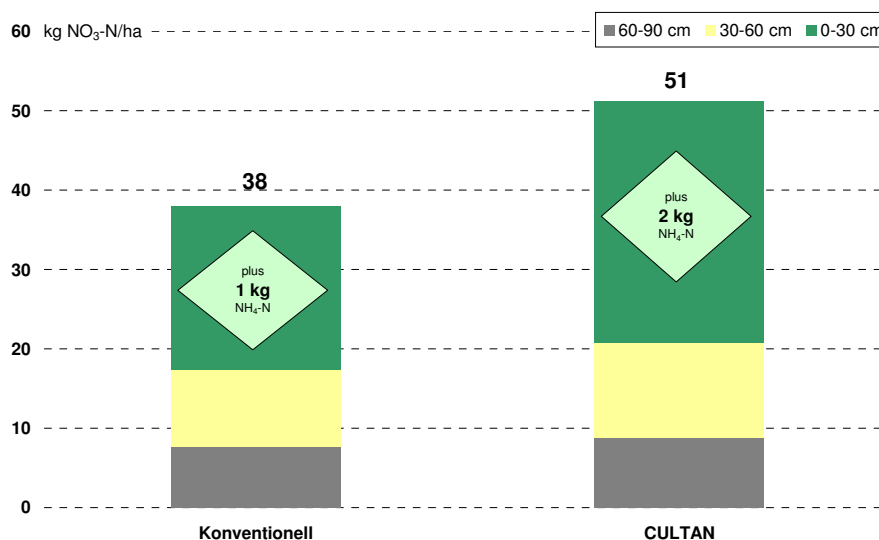


Fig 9: teneur en nitrate et en ammonium après récolte –PdT (valeur moyenne des sites 2009)

Après la récolte, les variantes CULTAN montrent de plus fortes teneurs en nitrates que les variantes traditionnelles, tandis que les teneurs en ammonium de l'horizon de surface du sol sont à de mêmes niveaux faibles. Les valeurs plus fortes pour la méthode CULTAN permettent, comme pour le maïs, d'émettre l'hypothèse que le dépôt d'engrais n'a pas été exploité en totalité et que l'azote injecté a été mieux exploité que dans la fertilisation traditionnelle.



Premières conclusions

Après deux années d'essais en culture de maïs grains et une année pour la pomme de terre, il est possible de tirer de premiers enseignements. Il faut tout d'abord bien considérer que dans ces essais les niveaux d'apports en azote dans les variantes CULTAN n'ont pas été réduits par rapport aux pratiques de fertilisation traditionnelle.

- Maïs et pomme de terre ont pu être suffisamment alimentés en azote à partir de dépôts d'azote très concentrés de la méthode CULTAN au semis ou à la plantation
- Les rendements et les qualités atteintes sont identiques
- Même avec une solution à base d'urée et de sulfate d'ammonium, utilisée comme fertilisant pour la méthode CULTAN, il a été possible d'obtenir des dépôts stables sur une longue durée pendant la période de végétation
- L'alimentation en autres éléments nutritifs n'a pas été handicapée
- Les stocks en nitrates après la récolte ont été plus importants avec la méthode CULTAN
- Les lessivages de nitrates ont eu tendance à être plus faibles pour CULTAN en maïs, et plus élevés pour la pomme de terre que pour la fertilisation conventionnelle (voir contribution de Schwarz *et al* dans les actes de ce colloque).
- Dans la pratique, des formulations d'engrais plus concentrées avec une teneur plus élevée en ammonium seraient souhaitables.

La méthode CULTAN dispose d'un potentiel pour réduire les quantités d'engrais azoté, et par là même les émissions de gaz à effet de serre et les charges de production.