METHODE DE LA DILUTION ISOTOPIQUE : APPLICATION AU CALCUL

DU COEFFICIENT REEL D'UTILISATION DE L'AZOTE D'UN FERTILISANT ORGANIQUE

ET
DE LA FIXATION SYMBIOTIQUE DE N_2

D'après un cours de l'AIEA (Training course series No 14, 2001)

Présenté par

F. GANRY

UR Recyclage et Risque Environnemental
CIRAD

Séminaire de Formation
« Impact agronomique et environnemental
de la gestion des matières organiques en milieu tropical »
Martinique 2008

1 - CONCEPT DE LA QUANTITE D'AZOTE DISPONIBLE POUR UNE PLANTE

Ce concept repose sur l'hypothèse suivante : lorsqu'une plante est en présence de différentes sources d'azote, la mobilisation à partir de chacune de ces sources est proportionnelle à la quantité disponible dans ces différentes sources.

1.1 – Sources et utilisation de l'azote par la plante

Expérience au champ – culture de maïs

. 80 kg N ha^{-1} sous forme de sulfate d'ammonium à 1 % d'excès isotopique ;

. Récolte sur parcelle avec engrais N :

- rendement 5000 kg M.S ha^{-1} et teneur N 2 %
- E % = 0,4 %

.Récolte sur témoin sans N : 2800 kg MS ha^{-1} et teneur N 1,8 %

Calculs

. Fraction de l'azote de la plante provenant de l'engrais (fNdfF) :

$$\frac{0,4}{1} = 0,4$$

. Rendement en azote :

$$\frac{5000 \times 2}{100} = 100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ desquels}$$

0,4 x 100 = 40 N ha^{-1} sont dérivés de l'application de 80 N sous forme de sulfate.

. Combien provient du sol ? Réponse : 60 kg N ha^{-1}

Utilisation de l'engrais

$$\frac{\text{N engrais mobilisé}}{\text{N engrais apporté}} = \frac{40}{80} = 50\ \%$$

Le coefficient réel d'utilisation de l'engrais (CRU %) est de 50 %
Le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais (CAU %) est de
[(5000*2) - (2800*1.8)]/80 = 62%

La différence entre le CAU et le CRU est un indicateur de l'effet de l'engrais sur l'utilisation de N sol par la plante [NdfS – Ntot plante (0N)]

. A partir de quelle quantité de N-sol proviennent les 60 kg ?

$$\frac{40}{80} = \frac{60}{?} = \frac{60}{120}$$

$$\frac{40}{80} = \frac{60}{120} = \frac{100}{200}$$

N-engrais

N-sol équivalent de 120 N de $(NH_4)_2SO_4$

Total des sources d'azote

Réponse : 120 kg N ha^{-1}

Nous avons estimé la quantité d'azote disponible dans le sol à 120 kg N ha^{-1} d'équivalent sulfate d'ammonium (attention : cette valeur n'est pas un indicateur de N minéralisable !).

1.2 – Concept de la « Valeur A »

1.2.1 – Equation générale

$$\frac{\text{Rendement N total}}{\text{N total fourni à la plante}} = \frac{\text{Rendement N engrais}}{\text{Dose de N engrais apporté}} = \frac{\text{Rendement N sol}}{\text{N sol disponible}},$$

où : N total fourni à la plante,

Dose N engrais apportée,

N sol disponible,

sont exprimés en unités équivalent d'engrais, par exemple en kg / ha de sulfate d'ammonium, si cet engrais est utilisé.

La quantité d'azote disponible dans une source est désignée par la valeur A.

Pour la détermination de la quantité d'azote disponible dans le sol nous devons connaître :

- rendement N total
- rendement N-engrais = rendement N total x fNdfF [1]
- rendement de N provenant du sol = rendement de N total x fNdfS [1]

[1] fNdfF : fraction N derived from fertilizer

fNdfS : fraction N derived from soil

fNdfF + fNdfS = 1

% fNdfF + % fNdfS = 100

$$\frac{fNdfF}{A\ engrais\ (dose\ apportée)} = \frac{fNdfS}{A\ sol} = \frac{1 - fNdfF}{A\ sol}$$

$$A\ sol = A\ engrais\ \left(\frac{1 - fNdfF}{fNdfF}\right)$$

1.2.2 – Exemple

Expériences en pot: culture d'orge

. calcul de la valeur A sol

Apport de 80 mg d'urée E % = 1

E % plante = 0.25

Valeur A ?

$$fNdfF = \frac{0,25}{1,00} = 0,25$$

$$fNdfS = 1 - 0,25 = 0,75$$

$$\frac{1 - 0,25}{0,25} = \frac{A}{80}$$

Réponse : A = 240 mg N équivalent urée

. Effet des doses apportées sur la valeur A sol

Doses d'azote apportée kg ha^{-1}	Poids sec g/pot	Ntotal parties aériennes mg/pot	NdfF mg/pot [1]	NdfF mg/pot [2]	Valeur-A kg/ha [1]	Valeur-A kg/ha [2]
0	0.42	13	_	_	_	_
50	2.08	47	34	14	19	118
100	2.09	58	45	27	29	115
200	3.06	116	103	72	25	122

[1] calculé par la méthode "de la différence"

[2] calculé par la méthode isotopique

Conclusions:

- La valeur du NdfF déterminée expérimentalement par la méthode isotopique diffère sensiblement de celle estimée par la méthode « de la différence ».
- Les valeurs A obtenues par la méthode isotopique sont indépendantes des doses N-engrais apportées.

Expérience au champ – culture de blé

Comparer les valeurs A obtenues en fonction de la modalité d'apport de l'engrais

Traitements	Rendement N total kg ha^{-1}		% NdfF		Rendement N-engrais kg ha^{-1}			N total kg ha^{-1}	NdfF %	A	Efficience relative [1]
	grain	paille	grain	paille	grain	paille	total				
1 - 100 N*urée	17.0	4.5	37	38	6.29	1.71	8.00	21.5	37	170	1 : 1.3
2 - 100 N* urée : 50 N au tallage 50 N à l'épiaison	14.0	2.8	45	39	6.3	1.09	7.39	16.8	44	127	1 : 1.0
3 - 100 N* urée enrobée de soufre à 30% N	7.7	1.8	25	20	1.93	0.36	2.29	9.5	24	317	1 : 2.5
4 - 100 N* urée enrobée de soufre à 50% N	7.6	1.8	8.9	8.8	0.68	0.14	0.82	9.4	9	1011	1 : 8.3
5 - 100 N* urée comprenant 2,5 % N-serve	13.0	3.2	44.0	41.0	5.72	1.31	7.03	16.2	43	133	1 : 1.05

[1] efficience relative: la plus petite valeur-A est ramenée à 100.

La valeur A est calculée à partir du %NdfF de la plante entière. Il importe de noter ici que le % NdfF est calculé à partir du rendement N engrais de chacun des organes échantillonnés, la somme de ces rendements N engrais étant divisée par la somme des MS de ces différents organes pour donner le % NdfF plante entière.

Comme le pool d'azote varie peu en fonction de l'engrais N appliqué, la valeur A exprimé en unités d'engrais appliqué peut servir à évaluer l'efficience des engrais. Dans l'expérience ci-dessus elle ne représente pas la quantité d'azote disponible de différents sols car il s'agit du même sol, mais la même quantité du pool d'azote du sol exprimé en unités différentes ; de ce fait, son inverse (1 : valeur A) est un indicateur de l'efficience de chacun des engrais. L'efficience relative est calculée par rapport à la plus petite valeur A ramenée à 100.

2 – EVALUATION DE LA QUANTITE D'AZOTE DISPONIBLE DANS UNE SOURCE QUI NE PEUT PAS ETRE MARQUEE AVEC ^{15}N

2.1 – Exemple 1 : azote disponible dans le guano

Traitement I : urée* 80 mg N/pot

« standard »
avec 2 sources
d'azote

% NdfF = 20 %

<u>Traitement II</u> : .urée* 80 mg N/pot
3 sources
d'azote

. guano 200 mg N/pot

% NdfF = 15 %

<u>Calculs</u> :

Valeur-A sol pour I : A = 320 mg N/pot

Valeur-A (sol+guano) pour II :

$$\frac{15}{80} = \frac{100 - 15}{A\ (sol+guano)}$$

A (sol+guano) = 453 mg N/pot équivalent urée marquée

A guano = 453 – 320 = 133 mg N/pot exprimé en équivalent N-urée

100 mg N-guano ⟶ 66,5 mg N/pot équivalent urée

100 mg N-urée ⟶ 100 mg N/pot équivalent urée

NdfS %

$$\frac{\%\ NdfS}{A\ sol\ (T\ I)} = \frac{\%\ NdfGuano}{A\ Guano\ (T\ II)} = \frac{\%\ NdfF}{A\ engrais\ (T\ II)}$$

Connus

<u>Conclusion :</u> Dans cet exemple, l'urée est 1,5 fois plus efficiente que le guano.

On peut calculer l'azote de la plante provenant du sol et du guano.

2.2 - <u>Exemple 2 :</u> culture de mil.

Comparer la quantité d'azote disponible en provenance de l'urée et du guano mélangé à du sol, utilisant du sulfate d'ammonium marqué comme marqueur.

<u>Traitements</u>

I - 50 mg N*-sulfate

II - 50 mg N*-sulfate + 50 mg de N-urée mélangé au sol

III - 50 mg N*-sulfate + 200 mg de N-guano mélangé au sol

Calculs

I – A sol = 150 N/pot équivalent sulfate

II – A (sol + urée) = 262 mg N/pot équivalent sulfate
A (urée) = 112

III – A (sol + guano) = 228 mg/pot équivalent sulfate
A (guano) = 78

50 mg N-urée sont équivalent à 112 mg de N-sulfate

200 mg N-guano sont équivalent à 78 mg N-sulfate

Conclusion : le N-urée est 224/39 = 5,7 fois plus disponible que le N-guano pour la même quantité d'azote dans la forme considérée.

Précaution : rappelons que le biais méthodologique de la méthode de dilution isotopique est le risque d'une immobilisation de ^{15}N dans le sol sous l'action de la source de MO étudiée, si celle-ci présente un C/N élevé (supérieur à 30), par rapport au témoin. Une telle immobilisation modifierait le marquage du pool N sol disponible, pool N précisément qu'on a pour objectif de mesurer sur le témoin. Pour réduire ce risque, nous suggérons d'apporter le ^{15}N une quinzaine de jour avant le semis ; d'autres techniques consistent à apporter du sucre en même temps de l'engrais marqué afin de provoquer une immobilisation sur les traitements source MO et le témoin (voir les travaux de Hood et al cités en bibliographie).

3 – QUELQUES APPLICATIONS DE LA VALEUR A

3.1 – Déterminer les doses d'application d'un engrais

Dans une expérimentation antérieure on trouve A sol = 400 kg/ha équivalent sulfate, on cherche à obtenir % NdfF = 25. Quelle dose de sulfate d'ammonium apporter ?

$$\frac{25}{\text{dose (« A » engrais)}} = \frac{75}{\text{Valeur A (400)}}$$

Réponse : dose de sulfate = 133 kg ha^{-1}.

3.2 - Connaissant le % NdfF à une dose donnée, déterminer le % NdfF à une dose différente

60 kg N-urée ha^{-1}

% NdfF = 60

Quelle sera le % NdfF à une dose de 120 N ?

On égale les valeurs-A

Réponse : % NdfF = 75

3.3 – Pour l'analyse d'échantillons de plante au spectrophotomètre d'émission, l'abondance minimale requise est de 0,5 %. Déterminer l'abondance naturelle en ^{15}N de sulfate d'ammonium à commander.

Dans une expérience antérieure, on a trouvé A sol = 300 kg / ha équivalent sulfate.

La dose appliquée est de 60 kg ha^{-1} sous forme de sulfate.

E % = 0,50 % - 0,37 % = 0,13 %

$$300 = 60 \left(\frac{100 - x}{x} \right)$$

x = 16,7 %

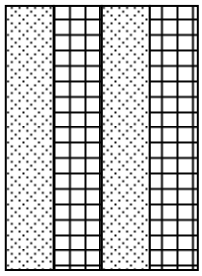
% NdfF = 16,7 %

$$NdfF = 0,167 = \frac{0,13}{x}$$

Réponse : x = 0,76 %

L'abondance naturelle minimum est de : 0,76 + 0,37 = 1,13 %

3.4 – Considérons le dispositif suivant



sulfate d'ammonium non marqué

sulfate d'ammonium marqué à 1 %

Après la récolte, E % = 0,2

Question 1 : Quel serait le E % de l'échantillon si toutes les interlignes recevaient de l'engrais marqué à 1 % ?

Question 2 : Quel serait le E % de l'échantillon si la quantité de sulfate d'ammonium disponible était appliquée à toutes les interlignes ?

Solution 1 : $fNdfF = \frac{0,4}{1}$ (dose normale d'application)

% NdfF = 40

Solution 2 : on apporte la moitié de la dose D
La quantité d'azote disponible dans le sol (A-sol) n'est pas affecté par la dose.

Application D : $\frac{400}{D} = \frac{100 - 40}{A}$

A = 1,5 D

Application ½ D : $\frac{\% NdfF}{0,5 D} = \frac{100 - \% NdfF}{1,5 D}$

% NdfF = 25

Sachant que $fNdfF = \frac{E \% plante}{E \% engrais}$,

on obtient, E% plante = 0,25

4 – METHODE DE LA « VALEUR-A » APPLIQUEE A LA QUANTIFICATION DE LA FIXATION SYMBIOTIQUE DE N_2.

3 sources d'azote :

- sol
- N-engrais
- N fourni par le processus de fixation biologique

4.1 – Importance du traitement standard

Cette méthode requiert un traitement standard constitué d'une plante non fixatrice « non nod. ».

Hypothèse de base : la plante de référence absorbe le N-sol et le N-engrais dans le même rapport que la plante fixatrice, reflétant une même quantité de N-sol (en unité d'engrais) présent dans le sol, pour les 2 plantes.

La plante non fixatrice doit présenter une similitude avec la plante fixatrice étudiée sur,

- la longueur du cycle végétatif
- le rythme d'absorption de l'azote au cours du cycle,
- la profondeur d'enracinement.

Le traitement standard permet de calculer la valeur A-sol

La légumineuse permet de calculer :

A sol+Fix

On en déduit :

A Fix = A sol+Fix – A sol

d'où :

$$\frac{\%\ NdfFix}{A\ Fix\ (nod)} = \frac{\%\ NdfFert}{A\ Fertil\ (nod)} = \frac{\%\ Ndfsol}{A\ sol\ (non\ nod)}$$

4.2 – <u>D'un point de vue expérimental, 2 situations peuvent se présenter</u>:

- plante fixatrice (nod) et plante non fixatrice (non nod), ont à leur disposition la même quantité de N-sol et de N-engrais ;
- plante fixatrice (nod) et plante non fixatrice (non nod), ont à leur disposition la même quantité de N-sol mais reçoivent des doses d'engrais différentes.

<u>Situation 1</u> :

- <u>Exemple</u>

E %		Fixation
plante fixatrice	plante non fixatrice	
0.5	0.5	non fixation
0	0.5	100% fixation
0.25	0.5	50% fixation
0.1	0.5	80% fixation

- <u>Equations générales</u>

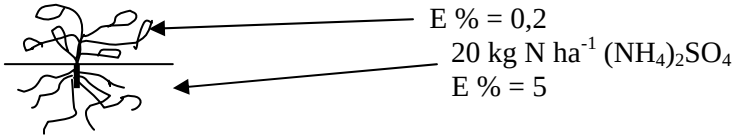
$$\%\ NdfS = \frac{E\ \%\ plante\ fixatrice}{E\ \%\ plante\ non\ fixatrice} = C$$

% NdfFix = 100 – C

(Fried et Middleboe, 1977)

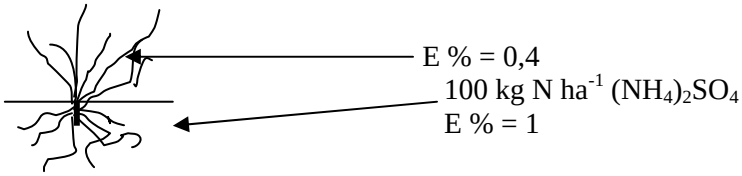
Situation 2 : Différentes doses de N-engrais

Traitement I :



nod.

Traitement II :



non nod.

Calculs:

Traitement I : $\% \text{ NdfF} = \frac{0,2}{5} \times 100 = 4$

$$\frac{4}{20} = \frac{100 - 4}{A\ (\text{sol+fixation})}$$

A (sol+fixation) = 480 kg N ha^{-1}équivalent $(NH_4)_2SO_4$

Traitement II : $\% \text{ NdfF} = \frac{0,4}{1} \times 100 = 40$

$$\frac{40}{100} = \frac{100 - 40}{A\ \text{sol}}$$

A sol = 150 kg N ha^{-1} équivalent $(NH_4)_2SO_4$

A Fix = A (sol+Fix) – A sol

A Fix = 480 – 150 = 330 kg N ha^{-1} équivalent $(NH_4)_2SO_4$

$$\frac{4}{20} = \frac{\%\ NdfFix}{330} = \frac{\%\ NdfS}{150}$$

% NdfFix = 66 %

% NdfS = 30 %

% NdfF = 4 %

Le rendement de N total de la plante fixatrice est de 150 kg N ha^{-1};

la quantité d'azote fixée est de $150 \times \frac{66}{100} = 99$ kg N ha^{-1}

Bibliographie

- Hood R.C., Goran K.N., Aigner M. and Hardason G., 1999. A comparison of direct and indirect ^{15}N isotope techniques for estmating crop N uptake from organic residues. Plant and Soil, 208, 259-270

- Hood R.C, Merckx R., Jensen Steen E, powlson D, matijeic M. and Hardason G., 2000. Estimating crop Nuptake from organic residues using a new approach to the ^{15}N isotope dilution technique. Plant and Soil, 223, 33-44.

- FAO/IAEA (2001) Use of Isotope and Radiation Methods in Soil and Water Management and Crop Nutrition. Manual. Training course series 14, FAO/IAEA Agricultural and Biotechnology Laboratory, 247 p.

- Ndiaye M. and Ganry F., 1997. Variation in the biological N_2 fixation by tree legumes in three ecological zones from the north to the south of Senegal. Arid Soil Research and Rehabilitation, 11, 3, 245-254.

- Ndiaye M., Ganry F. and Oliver R., 2000. Alley Cropping of Maize and Gliricidia sepium in the Sudanese Region : some technical Feasibility aspects. Arid Land Research and Managment, 14, 317-327.