

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
Université Mohamed Kider Biskra
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences agronomiques

N° d'orde :.....
Série :.....



THESE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT
EN SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : PEDOLOGIE

PAR HIOUANI FATIMA

THEME

Etude expérimentale de l'influence du gypse sur la dynamique de l'azote des amendements organiques (fiente de volaille, fumier ovin) et cinétique d'absorption par une graminée fourragère ray grass d'Italie

Soutenue le

Devant le jury composé de :

Halilat Mohamed Tahar	Professeur	Président	Université de M'Sila
Debabeche Mahmoud	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Bensaid Rabah	Professeur	Examineur	Université de Skikda
Benmessoud Hassen	M C'A'	Examineur	Université de Batna
Seghairi Nora	M C'A'	Examineur	Université de Biskra

Année universitaire 2015-2016

*À ma famille,
et plus particulièrement à ma mère*

Remerciements

Je remercie avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir guidé toutes les années d'étude et de m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

Je voudrais exprimer ma plus sincère gratitude au Professeur Debabeche Mahmoud, Directeur du laboratoire LARGHYDE, pour avoir accepté de diriger et de suivre cette thèse ainsi que pour son soutien, sa disponibilité et ses conseils tout au long de ce travail.

Je remercie également les membres du jury, d'avoir pris le temps de lire et d'évaluer ce travail. Je voudrais remercier particulièrement Professeur Halilet Mohamed Tahar, Recteur de l'Université de M'Sila, pour avoir accepté de m'honorer par sa présence en qualité de président de mon jury de thèse.

Je suis très reconnaissante au Professeur Bensaid R, Directeur de laboratoire OPAAFZSH, Université de Skikda, Et au Docteur Benmessoud Hassen d'avoir accepté de juger mon travail en leur qualité d'examineurs.

Je suis également très honorée par la présence de Docteur Seghairi Nora dans mon jury en qualité d'examinatrice.

Mes remerciements s'adressent également au Professeur Farhi Abdallah, Doyen de la faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la nature et de la Vie de l'Université de Biskra, pour son aide considérable.

J'adresse également mes sincères remerciements à Mr Guimeur Kamel, Chef du département d'agronomie de l'Université de Biskra, pour son aide et ses conseils durant la réalisation de cette étude.

Une très grande reconnaissance va aussi au Docteur Masmoudi Ali, pour ses suggestions congruentes et ses remarques constructives.

Je remercie cordialement Mr Xavier L., Directeur commerciale à RAGT semences, France pour m'avoir fourni la semence « ray grass d'Italie » pour le présent travail.

J'adresse toute ma gratitude à tous mes ami(e)s et à toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail. Je remercie M^{elle} Zerari D., Mme Chelloui N., Mme Gasmia H., Mr Aissaoui H., M^{elle} Belkiri D., Mme Mancer H., Mme Rechachi M., M^{elle} Bacha S., M^{elle} Bacha N., M^{elle} Boukhalfa H., Mme Snani S., M^{elle} Mouafek A., M^{elle} Madani D.

Table des matières

Page

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01
Chapitre I: L'azote et son dynamique dans le sol	
I .1. Introduction.....	03
I .2. Principales sources de l'azote.....	05
I .2.1. Généralité	05
I .2.2. Azote endogène du sol.....	06
I .2.3. Fixation de l'azote atmosphérique.....	07
I .2.3.1. Fixation libre.....	07
I .2.3.2. Fixation symbiotique.....	08
I .2.4. Dépôts aériens.....	10
I .2.5. Fixation industrielle.....	10
I .2.6. Engrais	11
I .2.7. Amendements organiques	11
I .2.8. Apports par la pluie.....	11
I .3. Formes de l'azote dans le sol.....	12
I .3.1. Azote total.....	12
I .3.2. Azote organique.....	12
I .3.3. Azote minéral.....	13
I .3.3.1. Azote ammoniacal.....	14
I .3.3.2. Azote nitrique.....	14
I .3.3.3. Azote nitreux.....	14
I .4. Dynamique de l'azote dans le sol.....	15
I .4.1. Ammonification.....	15

I .4.2. Nitrification.....	15
I .4.2.1. Facteur de la nitrification dans le sol.....	16
I .4.3. Dénitrification.....	17
I .4.4. Immobilisation.....	18
I .4.5. Volatilisation d'ammoniac.....	18
I .4.6. Lessivage des nitrates.....	19
I .5. Conclusion.....	19

Chapitre II: Les sols gypseux

II.1. Introduction.....	20
II.2. Répartition spatiale des sols gypseux dans le monde.....	20
II.3. Origines du gypse.....	22
II.3.1. Origine géologique.....	23
II.3.2. Origine hydraulique.....	23
II.3.3. Origine éolienne.....	24
II.4. Formes du gypse dans le sol.....	24
II.5. Caractéristiques des sols gypseux.....	26
II.5.1. Propriétés chimiques des sols gypseux.....	27
II.5.1.1. Formes hydratées et déshydratées du sulfate de calcium.....	27
II.5.1.2. Relations de solubilité.....	28
II.5.1.2.1. Solubilité du gypse dans l'eau pure en fonction de la température.....	28
II.5.1.2.2. Solubilité du gypse en présence des sels soluble.....	28
II.5.1.2.3. Action du pH sur la solubilité du gypse.....	29
II.5.1.2.4. Effet de la pression du gaz carbonique (CO ₂) sur la solubilité du gypse.....	30
II.5.1.2.5. Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité.....	30
II.5.1.3. Interaction gypse – calcaire.....	30
II.5.1.4. Relation entre le gypse et la capacité d'échange cationique (CEC).....	31
II.5.2. Propriétés physiques des sols gypseux.....	32
II.5.2.1. Texture.....	32

II.5.2.2. Structure.....	33
II.5.2.3. Circulation de l'eau dans le sol.....	33
II.5.2.4. Stabilité structurale.....	33
II.5.2.5. Résistance à la pénétration.....	34
II.5.2.6. Capacité de rétention.....	34
II.6. Irrigation des sols gypseux.....	35
II.7. Fertilité des sols gypseux.....	36
II.8. Effet du gypse sur la végétation.....	37
II.9. Effet du gypse sur la dynamique de l'azote.....	38
II.9.1. Action du gypse sur l'ammonification.....	38
II.9.2. Action du gypse sur la nitrification.....	38
II.9.3. Action du gypse sur la minéralisation de l'azote	38
II.9.4. Action du gypse sur la volatilisation de l'ammoniac.....	39
II.10. Conclusion.....	39

Chapitre III : Matériels et méthodes d'étude

III.1.Introduction.....	40
III.2.Matériels d'étude.....	40
III.2.1.Sol.....	40
III.2.2.Gypse.....	41
III.2.3. Amendements organiques.....	42
III.2.4. Matériel végétal	43
III.2.5. Pots de végétation.....	43
III.3. Méthodes d'étude.....	43
III.3.1. Description du dispositif	43
III.3.2. Semis	44
III.3.3. Irrigation	44
III.3.4. Fertilisation.....	45
III.3.5. Durée de l'essai.....	45
III.3.6. Analyses du sol.....	45
III.3.6.1. Réaction du sol (pH).....	45

III.3.6.2. Conductivité électrique (CE).....	45
III.3.6.3. Calcaire total	45
III.3.6.4. Granulométrie	45
III.3.6.5. Carbone organique.....	45
III.3.6.6. Base échangeable.....	45
III.3.6.7. Dosage de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).....	45
III.3.6.8. Dosage de l'azote total.....	46
III.3.6.9. Dosage de l'azote ammoniacal et nitrique.....	46
III.3.7. Analyse végétale.....	47
III.3.8. Analyse statistique.....	47
III.4. Conclusion.....	47

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1.Introduction.....	48
IV.2. Effet du gypse sur la minéralisation de l'azote organique dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier.....	48
IV.2.1. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier.....	48
IV.2.1.1. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en absence de fumier.....	48
IV.2.1.2. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en présence de fumier ovin.....	49
IV.2.1.3. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en présence de fumier volaille.....	52
IV.2.1.4. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en présence de fumier ovin et volaille.....	55
IV.2.2. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier.....	58

IV.2.2.1. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal en absence de fumier.....	58
IV.2.2.2. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal en présence de fumier ovin.....	59
IV.2.2.3. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal en présence de fumier volaille.....	62
IV.2.2.4. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal en présence de fumier ovin et volaille.....	65
IV.2.3. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier.....	69
IV.2.3.1. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en absence de fumier.....	69
IV.2.3.2. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en présence de fumier ovin.....	70
IV.2.3.3. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en présence de fumier volaille....	73
IV.2.3.4. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en présence de fumier ovin et volaille.....	76
IV.3. Effet du gypse sur la cinétique de croissance du ray grass en présence et en absence de fumier.....	80
IV.3.1. Effet du gypse sur l'évolution de la biomasse sèche aérienne en présence et en absence de fumier.....	80
IV.3.1.1. Effet du gypse sur l'évolution de la quantité de la biomasse sèche aérienne en absence de fumier.....	80
IV.3.1.2. Effet du gypse et du fumier ovin sur l'évolution de la biomasse sèche aérienne.....	81
IV.3.1.3. Effet du gypse et du fumier volaille sur l'évolution de la biomasse sèche aérienne.....	83
IV.3.1.4. Effet du gypse et le type et la dose de fumier sur le rendement en matière sèche de la biomasse aérienne	86
IV.3.2. Effet du gypse et du fumier sur le taux de la matière sèche racinaire du ray grass.....	90
IV.3.3. Effet du gypse et du fumier sur le taux de la matière sèche totale (aérienne et racinaire) du ray grass.....	92

IV.3.4. Effet du gypse sur la vitesse de croissance du ray grass en présence et en absence de fumier.....	93
IV.4. Effet du gypse sur la cinétique d'absorption de l'azote par ray grass en présence et en absence de fumier.....	100
IV.4.1. Effet du gypse sur la teneur en azote du ray grass en présence et en absence de fumier.....	100
IV.4.1.1. Effet du gypse sur la teneur en azote du ray grass en absence de fumier.....	100
IV.4.1.2. Effet du gypse sur la teneur en azote total du ray grass en présence de fumier ovin.....	100
IV.4.1.3. Effet du gypse sur la teneur en azote total du ray grass en présence de fumier volaille.....	103
IV.4.1.4. Effet du gypse sur la teneur en azote total du ray grass en présence de fumier ovin et volaille.....	106
IV.4.2. Effet du gypse sur la vitesse d'absorption de l'azote par le ray grass en présence et en absence de fumier.....	110
IV.5. Conclusion.....	116
Conclusion générale.....	117
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumés	

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Cycle de l'azote (Tortora et <i>al</i> , 2003).....	04
Figure 2 : Distribution générale des surfaces d'accumulation de gypse (exception des roches déposées) (Watson, 1985).....	21
Figure 3 : Distribution des sols gypseux dans le Nord et l'Est de l'Afrique, le Sud – Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphen et Rios Romero, 1971).....	21
Figure 4 : Déshydratation du gypse à température croissante (Weisser et <i>al</i> , in Jauzein, 1974).....	27
Figure 5 : Différentes phases de la solubilité du $\text{CaSO}_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ dans l'eau pure en fonction de la température (Weisser et <i>al</i> , in Jauzein, 1974).....	28
Figure 6 : Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité dans l'eau (F.A.O, 1990).....	30
Figure 7 : Relation entre la capacité d'échange cationique et le taux de gypse (Poch,1992 a).....	31
Figure 8 : Exposition d'une couche gypseuse de sous-sol et les cavités formées comme conséquence d'une irrigation prolongée des sols gypseux (schématiquement) (Mashali, 1996).....	36
Figure 9 : Situation de la zone d'échantillonnage du sol (google earth, 2014).....	40
Figure 10 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en absence de fumier.....	49
Figure 11 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du premier prélèvement.....	50
Figure 12 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du deuxième prélèvement.....	50
Figure 13 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du troisième prélèvement.....	51

Figure 14: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du quatrième prélèvement.....	51
Figure 15: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du cinquième prélèvement.....	52
Figure 16: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du premier prélèvement.....	52
Figure 17: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du deuxième prélèvement.....	53
Figure 18: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du troisième prélèvement.....	53
Figure 19: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du quatrième prélèvement.....	54
Figure 20: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du cinquième prélèvement.....	54
Figure 21 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du premier prélèvement.....	56
Figure 22 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du deuxième prélèvement.....	56
Figure 23 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du troisième prélèvement.....	57
Figure 24 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du quatrième prélèvement.....	57
Figure 25 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du cinquième prélèvement.....	58
Figure 26: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en absence de fumier....	59
Figure 27: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du premier prélèvement.....	60

Figure 28: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du deuxième prélèvement.....	60
Figure 29: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du troisième prélèvement.....	61
Figure 30: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du quatrième prélèvement.	61
Figure 31: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du cinquième prélèvement.....	62
Figure 32: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du premier prélèvement.....	63
Figure 33: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du deuxième prélèvement.....	63
Figure 34: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du troisième prélèvement.....	64
Figure 35: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du quatrième prélèvement.....	64
Figure 36: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du cinquième prélèvement.....	65
Figure 37: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du premier prélèvement.	66
Figure 38: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du deuxième prélèvement.....	67
Figure 39: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du troisième prélèvement.....	67
Figure 40: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du quatrième prélèvement.....	68
Figure 41: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du cinquième prélèvement.....	68

Figure 42: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en absence de fumier.....	69
Figure 43 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du premier prélèvement.....	70
Figure 44 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du deuxième prélèvement.....	71
Figure 45 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du troisième prélèvement.....	71
Figure 46 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du quatrième prélèvement.....	72
Figure 47 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du cinquième prélèvement.....	72
Figure 48: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du premier prélèvement.....	73
Figure 49: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du deuxième prélèvement.....	74
Figure 50: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du troisième prélèvement.....	74
Figure 51: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du quatrième prélèvement.....	75
Figure 52: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du cinquième prélèvement.....	75
Figure 53: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du premier prélèvement.....	77
Figure 54: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du deuxième prélèvement.....	78

Figure 55: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du troisième prélèvement.....	78
Figure 56: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du quatrième prélèvement.....	79
Figure 57: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du cinquième prélèvement.....	79
Figure 58: Evolution de la biomasse sèche aérienne en fonction du taux de gypse.....	80
Figure 59: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la première coupe.....	81
Figure 60: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la deuxième coupe.....	82
Figure 61: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la troisième coupe.....	82
Figure 62: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la quatrième coupe.....	83
Figure 63: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la cinquième coupe.....	83
Figure 64: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la première coupe.....	84
Figure 65: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la deuxième coupe.....	84
Figure 66: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la troisième coupe.....	85
Figure 67: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la quatrième coupe.....	85

Figure 68: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la cinquième coupe.....	86
Figure 69: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la première coupe.....	88
Figure 70: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la deuxième coupe.....	88
Figure 71: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la troisième coupe.....	89
Figure 72: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la quatrième coupe.....	89
Figure 73: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la cinquième coupe.....	90
Figure 74: Effet du gypse sur le poids de la matière sèche racinaire.....	91
Figure 75: Effet du gypse sur le poids de la matière sèche total.....	93
Figure 76 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D1V0.....	94
Figure 77 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D0V0.....	94
Figure 78 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D2V0.....	95
Figure 79 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D0V1.....	95
Figure 80 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D0V2.....	96
Figure 81: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la première coupe.....	97
Figure 82: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la deuxième coupe.....	98
Figure 83: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la troisième coupe.....	98
Figure 84: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la quatrième coupe.....	99

Figure 85: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la cinquième coupe.....	99
Figure 86: Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en absence de fumier.....	100
Figure 87: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la première coupe.....	101
Figure 88: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la deuxième coupe.....	101
Figure 89: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la troisième coupe.....	102
Figure 90: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la quatrième coupe.....	102
Figure 91: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la cinquième coupe.....	103
Figure 92 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la première coupe.....	104
Figure 93 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la deuxième coupe.....	104
Figure 94 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la troisième coupe.....	105
Figure 95 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la quatrième coupe.....	105
Figure 96 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la cinquième coupe.....	106
Figure 97: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la première coupe.....	107
Figure 98: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la deuxième coupe.....	108
Figure 99: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la troisième coupe.....	108

Figure 100: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la quatrième coupe.....	109
Figure 101: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la cinquième coupe.....	109
Figure 102: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D0V0.....	111
Figure 203: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D1V0.....	111
Figure 104: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D2V0.....	112
Figure 105: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D0V1.....	112
Figure 106: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D0V2.....	113
Figure 107: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la première coupe.....	113
Figure 108: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la deuxième coupe.....	114
Figure 109: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la troisième coupe.....	114
Figure 110: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la quatrième coupe.....	115
Figure 111: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la cinquième coupe.....	115

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Répartition de l'azote dans les différents compartiments de la biosphère (en giga tonnes : Gt) (Jenkinson, 1990 in Schwartz et <i>al</i> 2005).....	05
Tableau 2 : Répartition de l'azote de la terre (Bartholomew et Clark, 1965 in Bertrand et Gigou, 2000).....	06
Tableau 3 : Principaux genres de bactéries libres fixatrices d'azote. Toutes les espèces des genres mentionnés ici ne sont pas forcément pourvues de nitrogénase (Davet, 1996).....	08
Tableau 4 : Distribution des sols gypseux par pays (F.A.O, 1990).....	22
Tableau 5 : Formes de gypse de néoformations et leurs caractéristiques (Verba, 1996).....	26
Tableau 6 : Solubilité du gypse en présence du chlorure de magnésium $MgCl_2$ (Pouget, 1968).....	29
Tableau 7 : Influence de la concentration de chlorure de sodium (NaCl) sur la solubilité du gypse (Anselme et Cameron in Durand, 1953).....	29
Tableau 8 : Relation entre le taux de gypse et les seuils des éléments nutritifs majeurs (Mousli, 1980).....	37
Tableau 9 : Caractéristiques physico-chimiques du sol étudié.....	41
Tableau 10: Propriétés du minerai de gypse.....	42
Tableau 11 : Indices de productivité des sols gypseux (Boyadjiev (1975).....	42
Tableau 12 : Caractéristiques des amendements organiques.....	43
Tableau 13: Dispositif expérimental.....	44
Tableau 14 : Conductivité électrique à 25 °C de différentes concentrations de sulfate de calcium dans l'eau (Poch, 1989 ; Rayan, et <i>al</i> , 2001).....	46
Tableau 15: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du gypse sur la nitrification.....	55

Tableau 16: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du fumier sur la nitrification.....	58
Tableau 17: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du gypse sur l'ammonification.....	66
Tableau 18: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du fumier sur l'ammonification.....	66
Tableau 19: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du gypse sur l'azote minéral.....	76
Tableau 20: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du fumier sur l'azote minéral.....	77
Tableau 21: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du gypse sur le rendement moyen en matière sèche aérienne.....	87
Tableau 22: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du fumier sur le rendement moyen en matière sèche aérienne.....	90
Tableau 23: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du gypse sur la vitesse de croissance du ray grass.....	96
Tableau 24: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du fumier sur la vitesse de croissance du ray grass.....	97
Tableau 25: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du gypse sur la quantité d'azote dans la plante.....	110
Tableau 26: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet	

moyen du fumier sur la quantité d'azote dans la plante.....110

Tableau 27: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet

Moyen du gypse sur la vitesse d'absorption de l'azote par le ray grass.....96

Tableau 28: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet
moyen du fumier sur la vitesse d'absorption de l'azote par le ray grass.....116

Introduction générale

Introduction générale

Les sols gypseux couvrent environ 94 millions d'hectares de terres arables dans le monde (Boyadgiev et Verheye, 1996). L'origine du gypse en quantité importante dans les sols est en relation avec la présence de roches sédimentaires gypseuses (Baize et Girard, 2008).

En Algérie, ces sols se localisent en régions arides et sahariennes où les précipitations annuelles ne dépassent pas 150 mm/an. Ils sont souvent rencontrés en zones steppiques autour des sebkhas et dans les oasis au Sahara, surtout au Nord (Oasis de Ziban, Oued-Souf, Oued-Righ). Dans ces régions les bassins sulfatés sont très fréquents, mais la genèse des sols gypseux est essentiellement due à l'activité des nappes et l'intensité de l'évapotranspiration (Halitim et Robert, 1987).

L'accumulation de gypse dans le sol a pour conséquence la baisse de la fertilité et des rendements, ceci est les résultats des propriétés physico-chimiques défavorables dans ces sols et un déséquilibre dans le prélèvement des éléments nutritifs par la plante (Van Alphen et Rio Romero, 1971). En outre, la présence de teneur élevée en gypse dans la rhizosphère affecte la teneur et la disponibilité des éléments nutritifs (Mashali, 1996).

Des travaux effectués par Sommerfeldt et *al* (1988) in Elherradi et *al* (2003), montrent une corrélation entre la quantité d'amendement organique appliqué annuellement et l'augmentation de la teneur en matière organique dans le sol. La matière organique est reconnue comme le principal indicateur de la qualité et de la fertilité du sol (Robert, 2002).

Les produits d'amendements organiques permettent non seulement l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, mais aussi constituent un réservoir important d'éléments nutritifs. Parmi ces éléments l'azote, nutriment essentiel, est un constituant d'importance primordiale dans la synthèse de la biomasse végétale, et comme le phosphore, le potassium et à un degré moindre le soufre, cet élément chimique exerce une grande influence sur les niveaux de rendement des espèces cultivés (Duthil 1973).

Le cycle de l'azote peut être résumé comme un échange de N entre l'atmosphère et la biosphère. Le N₂ atmosphérique, qui comprend environ 78% de l'atmosphère, est inaccessible à la plupart des organismes vivants, à l'exception d'un petit nombre de bactérie fixatrice de l'azote (Zehr et Kudela, 2011).

Donc en raison des exigences élevées en azote (N) des cultures et les faibles niveaux de N disponible pratiquement dans tous les types de sols, il est l'élément nutritif le plus important dans l'agriculture (Rayan et *al*, 2001).

L'épandage des amendements organiques est une pratique courante pour valoriser les rejets des animaux. Ils fournissent des éléments nutritifs indispensables à la croissance des plantes comme l'azote, le phosphore et le potassium. Cet apport d'éléments nutritifs aide à résoudre la problématique posée en agriculture par le coût élevé des engrais minéraux.

Différentes méthodes ont été utilisées pour étudier la minéralisation de l'azote (N) des amendements organiques dans différents types des sols ; par des expérimentations aux laboratoires par des incubations ou sur terrain pour mieux cerner la cinétique de la minéralisation de l'azote (Carter, 1986 ; Jedidi et *al*, 2002 ; Choudhary et *al*, 2002; Elherradi et *al*, 2003)

Cette étude visait principalement à étudier l'influence du gypse sur la dynamique de l'azote des amendements organiques (fumier volaille, fumier ovin) et sa cinétique d'absorption par une graminée fourragère le ray grass d'Italie. Ceci permettrait de dégager trois hypothèses qui soutiennent cette étude :

1. La minéralisation de l'azote dépend de la teneur en gypse.
2. Le type et la dose du fumier peuvent influencer le taux de minéralisation de l'azote organique.
3. La cinétique d'absorption de l'azote minéral par le ray grass d'Italie est en relation avec le taux du gypse.

A cet effet, la présente thèse sera divisée en quatre chapitres ; les deux premiers chapitres traitant l'azote et son dynamique dans le sol et une généralité sur les sols gypseux ainsi que l'action du gypse sur la dynamique de l'azote. Le troisième chapitre comporte les matériels et méthodes d'études et le dernier chapitre comprenant les résultats et discussion obtenus.

Chapitre I

L'azote et son dynamique dans le sol

Chapitre I: L'azote et son dynamique dans le sol

I.1. Introduction

C'est l'élément chimique de numéro 7, de symbole N et de masse atomique 14,06g. C'est l'élément le plus léger du groupe V du tableau périodique. Il est incolore, inodore et insipide, et il existe dans la nature sous deux états (FNIE, 1986):

- A l'état moléculaire (N₂),
- A l'état combiné, sous forme minérale (ammoniacal et nitrique) ou organique.

L'azote est un élément très abondant dans la biosphère mais surtout dans l'atmosphère où il constitue 78% en volume de la composition de l'air (385×10^{11} tonnes) (Robert, 1996; Stuart Chapin III et al 2002). A côté de cet énorme réservoir, les sols n'en contiennent que 10^{10} à 10^{11} et les océans 5×10^{11} tonnes (Robert, 1996).

La composition de l'atmosphère terrestre est surprenante à plus d'un titre, en effet, l'azote longtemps considéré comme un gaz inerte, la domine à 79% (l'étymologie du mot grec " azote" signifie "privé de vie") (Fischesser et Dupuis- Tate, 2007).

L'azote est un composant biogène, il représente à la fois un élément de structure, de fonctionnement et un substrat alimentaire au sens large (Fischesser et Dupuis- Tate, 2007).

L'atmosphère terrestre contient près de 79% d'azote principalement sous forme de diazote (N₂) et à divers degrés, sous les formes de N₂O de NO, de NH₃, de NH₄ et autres (Tortora et al, 2003).

Les micro-organismes jouent divers rôles importants dans le cycle de l'azote (fig. 1). Ils sont responsables des transformations qu'aucun autre organisme n'est capable de réaliser (Perry et al, 2004 ; Rose et al, 2006).

Le cycle général de l'azote décrit son échange entre atmosphère et biosphère. La quasi-totalité des biotransformations à lieu dans le sol, elles y forment plusieurs sous-cycles (Stenget et al, 1998).

Dans les écosystèmes naturels, la plupart de l'azote absorbé par les plantes sera disponible grâce à la décomposition de la matière organique (Stuart Chapin III et al, 2002).

Cette biomasse microbienne peut être considérée comme le moteur des transformations de l'azote du sol: elle intervient à la fois comme agent de transformations (synthèse, dégradation) et comme compartiment (source et puits d'éléments) (Nicolardot et al, 1996).

Le cycle de l'azote implique une série de transformations chimiques qui sont l'œuvre d'un petit nombre d'organismes spécialisés. Ces mécanismes biologiques peuvent être brièvement résumés comme suit:

Sous le terme de cycle, on désigne l'ensemble des transformations que subit l'azote dans la biosphère (Dommergues et Mangenot, 1970).

Ces transformations dont les plus importantes sont de nature microbienne jouent un rôle de premier ordre sur le plan agronomique, car elles régissent d'une part les gains et les pertes du sol en azote, d'autre part la teneur du sol en formes assimilables par les plantes (Dommergues et Mangenot, 1970).

Tous les organismes ont besoin d'azote pour les protéines et les acides nucléiques, mais la grande majorité des organismes ont besoin de l'azote sous forme réduite, des nitrates (NO_3^-) ou les nitrites (NO_2^-) ou dans sa forme réduit de l'ammoniaque (NH_3) (Graham et al, 2006).

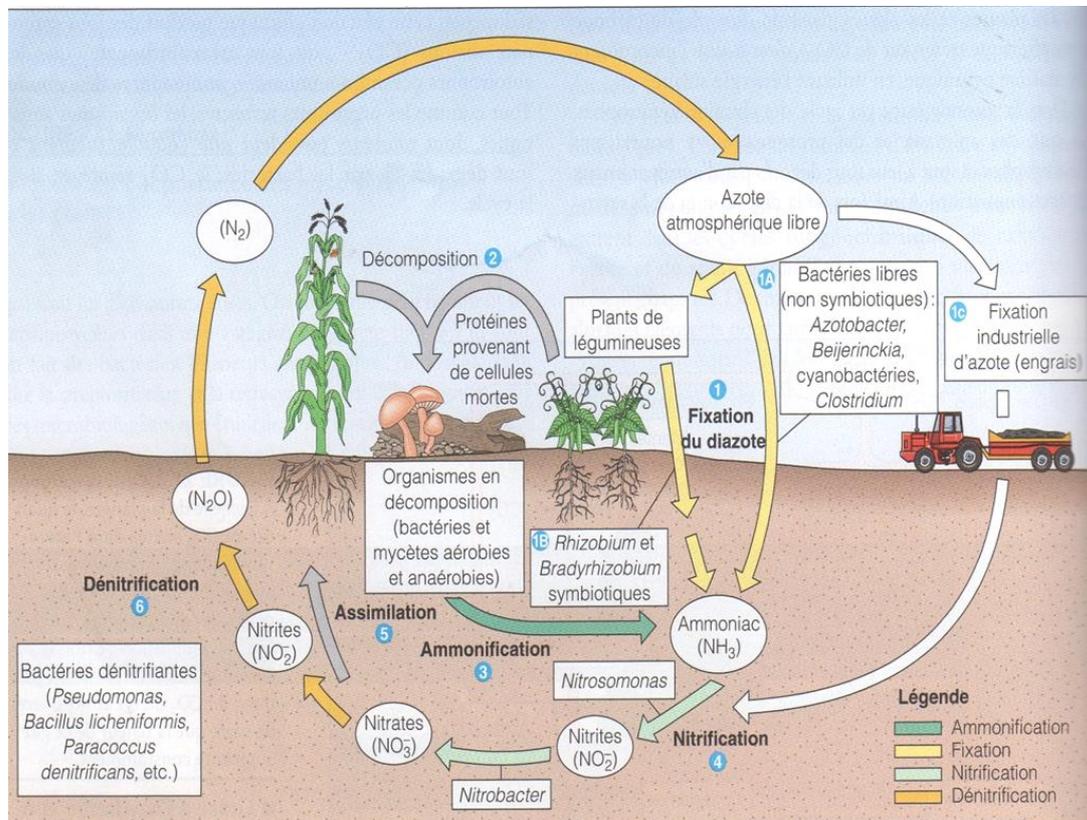


Figure 1: Cycle de l'azote (Tortora et al, 2003)

I.2. Principales sources de l'azote

I.2.1. Généralité

L'azote est l'élément constitutif des plantes le plus important après le carbone. L'azote constitue 78% de l'air (Gray et Haight, 1985).

La quantité d'azote contenue dans les végétaux terrestres et les sols est relativement faible 198×10^{13} g comparée au pool atmosphérique (Ricklefs et Miller, 2005).

Jenkinson, (1990) in Schwartz et al (2005) a proposé une répartition de l'azote à l'échelle planétaire résumée dans le tableau (1).

Tableau 1: Répartition de l'azote dans les différents compartiments de la biosphère en gigatonnes : Gt (Jenkinson, 1990 in Schwartz et al 2005).

Atmosphère	3900000
Océans	24000
Sols (hors biomasse)	150
Végétaux	15
Biomasse du sol	1,5
Animaux	0,21

L'azote existe dans différents réservoirs ou pools en interaction et dans lesquels l'azote est présent sous différents formes.

La source de l'azote organique de la biosphère est l'azote de notre atmosphère. L'azote atmosphérique, d'une très grande abondance est sous forme particulièrement stable (Hennen, 2001).

L'azote est un élément vital pour tous les organismes vivants. Les entrées d'azote organique ou minéral dans le sol s'effectuent principalement par la fixation symbiotique, la fixation libre, les restitutions de matière organique (résidus de récolte, exsudats racinaires, amendements organiques), les apports atmosphériques par déposition ou précipitation (10 à 15 Kg d'azote par hectare et par an et parfois beaucoup plus) et les engrais de synthèse. Les sorties sont quant à elles liées aux exportations par les végétaux, aux pertes par voie gazeuse (volatilisation, dénitrification) et aux pertes par transfert (ruissellement et lessivage) (Nicolardot, 1996).

L'azote est un constituant minoritaire des êtres vivants, mais il est tout aussi essentiel comme chacun sait, l'azote fait souvent partie des éléments limitant au cours de la croissance des

plantes. Sinon nul serait le besoin d'utiliser autant de fertilisants azotés dans l'agriculture (Pelmont, 2005).

Sur terre, l'azote s'échange entre des compartiments très inégaux (tableau 2). Les roches contiennent la majorité de l'azote, bloqué sous des formes minérales inertes qui n'interviennent pas dans l'alimentation des êtres vivants. C'est l'atmosphère qui joue le rôle de réserve d'azote pour la biosphère. C'est une réserve considérable, dont seule une toute petite partie est utilisée par les êtres vivants. Le sol contient environ 1‰ d'azote dans les horizons de surface, sont 3t/ha dans les 20 premiers centimes. Bien que les êtres vivants ne contiennent qu'une partie extrêmement réduite de l'azote de la terre, c'est souvent un facteur limitant de la croissance, car seule une très petite partie est sous forme assimilable (Bertrand et Gigou, 2000).

Tableau 2 : Répartition de l'azote de la terre (Bartholomew et Clark, 1965 in Bertrand et Gigou, 2000).

	Masse 10²⁰ g	% du total
Rôche	1930,0	97,82
Atmosphère	38,648	1,96
Sédiments anciens	4,0	0,2
Humus terres émergées	0,0082	Trace
Mat. Orga. fonds marins	0,0054	Trace
Organismes vivants	0,00028	Trace

I.2.2. Azote endogène du sol

L'azote est un élément qui a une origine endogène (résidus de culture, exsudats racinaires) (Nicolardot *et al*, 1996).

En général, même dans les champs fertilisés, la majorité de l'azote des plantes provient du recyclage par la minéralisation de l'azote du sol et des résidus organiques (Bertrand et Gigou, 2000).

De nombreux sols contiennent 3 à 5 tonnes d'azote par hectare, pratiquement uniquement sous forme organique et essentiellement dans la couche labourée comprise entre 0 et 25-30 cm de profondeur (Chambenoit *et al*, 2002).

Les végétaux ou les animaux qui meurent, leurs protéines et leurs acides aminés sont transformés en ions ammonium par des micro-organismes qui tirent leur énergie de ce processus (Rose et Mueller, 2006).

L'azote assimilé par les organismes vivants est restitué au sol après décomposition de la matière organique végétale et animale par les bactéries, champignons et protozoaires... (Morot-Gaudry, 1998).

Les composés organiques azotés dégradés sont utilisés comme source d'énergie et de carbone, et l'azote non utilisé par les micro-organismes est libéré généralement dans le sol sous forme d'ammonium NH_4^+ (Morot-Gaudry, 1998).

I.2.3. Fixation de l'azote atmosphérique

D'après Nicolardot *et al.*, (1996) et Warembourg et Rounet, (1989) in Lemaire *et al.*, (1996), la fixation de l'azote atmosphérique est la transformation de l'azote moléculaire en azote ammoniacal, qui est ensuite incorporé dans les composés organiques. Elle est due à l'activité de micro-organismes très spécifique et deux types de processus sont alors rencontrés: la fixation libre et la fixation symbiotique.

I.2.3.1. Fixation libre

De nombreuses bactéries, appartenant à des groupes taxonomiques très différents, sont capables de fixer l'azote atmosphérique (tableau 3). Les plus répandues et les plus anciennement connues sont des organotrophes. Incapables d'utiliser la cellulose, elles ont besoin de substrats carbonés facilement métabolisables, mais beaucoup vivent en association avec des organismes cellulotiques dont elles consomment les sous-produits (Davet, 1996).

La fixation libre peut être effectuée par des bactéries aérobies (*Azotobacter Sp.*, *Beijerinckia Sp.*, *Diazotritium Sp.*, *Azospirillum Sp.*) ou anaérobies (*Clostridium Sp.*), photosynthétiques (*Rhodospirillum Sp.*) ou encore par des algues bleues (*Anabaena*, *Nostoc...*) Nicolardot *et al.*, (1996) ; Dommergues et Manguot, (1970).

Tableau 3 : Principaux genres de bactéries libres fixatrices d'azote. Toutes les espèces des genres mentionnés ici ne sont pas forcément pourvues de nitrogénase (Davet, 1996).

Classification Nutritionnelle	Métabolisme Respiratoire	Principaux genres	Caractères particuliers
Organotrophes	Aérobies	Azotobacter Beijerinckia Derxia	Sols neutres et alcalins Régions tempérées Sols plus ou moins acides Régions tropicales
	Microaérophiles	Klebsiella Bacillus Azospirillum	Organismes généralement associés aux racines
	Anérobies	Clostridium Desulfovibrio Desulfotomaculum Methanococcus	Large gamme de pH Bactéries du cycle du soufre Archéobactérie
Phototrophes	Aérobies	Gloeotheca Nostoc Anabaena Aulosira Scytonema Plectonema Oscillatoria	Cyanobactéries unicellulaires Cyanobactéries filamenteuses possédant des hétérocystes spécialisés
	Anérobies	Rhodospirillum Chromatium Thiocapsa Chlorobium	Cyanobactéries filamenteuses dépourvue d'hétérocystes Bactéries pourpres photo-organotrophes Bactéries vertes ou brunes Photo-lithotrophes Cycle du soufre

I.2.3.2. Fixation symbiotique

Le terme symbiose désigne l'ensemble des associations plus ou moins fortes s'établissant entre deux organismes différents vivant ensemble (Perry *et al*, 2004).

On parle le plus souvent de symbiose lorsqu'il s'agit d'une association apparemment obligatoire et indissoluble entre deux espèces (Lévêque et Mounolou, 2001).

Le phénomène de symbiose est connu depuis longtemps, mais alors qu'on le croyait limiter aux légumineuses, des recherches effectuées dans plusieurs pays ont permis de découvrir que certaines variétés de blé, de maïs, de sorgho, de riz pouvaient elles aussi recevoir leur azote par l'intermédiaire de bactéries (Fischesser et Dupuis-Tate, 2007).

Le processus naturel de fixation biologique de l'azote a été fortement stimulé dans le cadre de l'agriculture. La plantation à l'échelle mondiale de plantes fixatrices d'azote, tel le soja ou les haricots, capture actuellement 50 Tg N par an (Pédro, 2007).

Dans le cas de la fixation symbiotique de l'azote, il existe trois sortes de symbioses (Soltner^b, 2005; Davet, 1996; Lévêque et Mounolou, 2001; Stebget et *al*, 1998; Sykes et Cammack, 1992; Dupuy et Nougier, 2005).

- Les bactéries du genre *Rhizobium* ou *Bradyrhizobium*, des nodosités des légumineuses;
- Les Actinomycètes du genre *Frankioa* des nodules des *Casuarina* et des Aulnes;
- Les bactéries du genre *Azorhizobium* des nodules aériens des légumineuses tropicales comme *Sesbania* et *Aeschynomene*.

Les quantités d'azote fixées par l'association symbiotique légumineuses – rhizobium sont très dépendantes des conditions du milieu (concentration en nitrate, pH, humidité, souches de rhizobium). Elles peuvent représenter des apports d'azote qui varient de quelques dizaines à quelques centaines de kilogrammes par hectare et par an (Schvartz et *al*, 2005).

Les bactéries fixatrices d'azote par symbiose avec les plantes, ont le plus haut taux de fixation de l'azote (Stuart Chapin III et *al*, 2002).

Des plantes diverses, telles que les légumineuses (plantes à pois, à haricots...), le trèfle, la luzerne, le soja, développent des nodules sur leurs racines où cohabitent cellules végétales et bactéries symbiotiques du genre *rhizobium* (Hennen, 2001).

Les plantes de l'ordre des légumineuses ou Fabales sont capables d'utiliser indirectement l'azote atmosphérique quand elles présentent des nodosités sur leurs racines infectées par des bactéries du genre *Rhizobium*. Ces dernières ne fixent pas l'azote quand elles vivent librement dans le sol, mais elles acquièrent cette propriété en devenant l'hôte des cellules végétales, il s'agit d'une symbiose, c'est la plus importante de la biosphère. Les rhizobiums sont des diazotrophes symbiotiques (Dupuy et Nougier, 2005).

Le terme symbiose désigne l'ensemble des associations plus ou moins fortes s'établissant entre organismes différents vivant ensemble (Perry et *al*, 2004).

Le phénomène de symbiose est connu depuis longtemps, mais alors qu'on le croyait limiter aux légumineuses, des recherches effectuées dans plusieurs pays ont permis de découvrir que certaines variétés de blé, de maïs, de sorgho, de riz pouvaient elles aussi recevoir leur azote par l'intermédiaire de bactéries (Fischesser et Dupuis, 2007).

On distingue empiriquement plusieurs grands groupes de *Rhizobium* chacun spécifique d'un ou plusieurs genres de légumineuses (Lapeyronie, 1982):

- *Rhizobium trifolli* du trèfle,
- *Rhizobium meliloti*: luzerne, méiffot,
- *Rhizobium léguminosarum*: féverole, vesces, pois...
- Et divers groupes inféodes au sainfoin, à l'anthyllide, au lotier, à la coronille.

On appelle mycorhizes, des symbioses particulières entre un champignon (un basidiomycète le plus souvent et les racines de végétaux divers, Angiospermes, Gymnospermes, Ptéridophytes. On estime que 80% des plantes vasculaires contractent de telles associations avec les champignons. Il existe deux sortes de mycorhizes (Dupuy et Nougier, 2005):

- Hêtre/ Lactaire (Basidiomycète)
- Bouleau/ Russule (Basidiomycète)
- Chêne/ Truffe (Ascomycète)

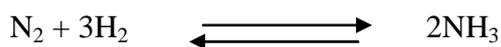
Mycorhyse: elles constituent un autre type d'association symbiotique dont le rôle est très important dans les écosystèmes terrestres, car elles se rencontrent chez la plupart des espèces de plantes supérieures vivaces, en particulier chez les arbres appartenant à de nombreuses espèces propres aux forêts méditerranéennes, tempérées et boréales (Ramade, 2003).

I.2.4. Dépôts aériens

Les dépôts aériens, dits humides ou sec selon qu'ils sont apportés ou non par les précipitations. Les sources peuvent être l'oxydation de l'azote par la foudre, la production d'oxydes d'azote gazeux par la dénitrification, ou par la combustion des bois, des charbons et des pétroles, ou l'ammoniac par les déjections organiques, notamment les effluents d'élevage, et par les usines de production de fertilisants. La forme dominante des dépôts est la plus oxydée: l'acide nitrique (Stenget et Gelin, 1998; Cellier et *al* 1997; Bøckman et *al*, 1990).

I.2.5. Fixation industrielle

La fixation industrielle permet l'utilisation de l'azote de l'air pour la fabrication d'engrais azotés divers : ammoniacaux, nitrique ou uréiques (Ramade, 1994 ; Bøckman et *al*, 1990). 25% de l'azote viennent des procédés industriels (Stryer, 1995). Le processus industriel de fixation de l'azote décrit par Fritz Habert en 1910, est encore couramment utilisé dans les usines d'engrais (Stryer, 1995).



La fixation est typiquement effectuée en présence de fer agissant comme catalyseur, à environ 500°C et à une pression de 300 atm (Stryer, 1995).

La fixation industrielle de l'azote nécessite des températures et des processus très élevées et elle est coûteuse en termes de besoins en énergie (Graham et *al*, 2006).

On peut produire de l'engrais azoté à partir de l'azote de l'air selon la réaction de Haber-Bosh, 1918 :

$$T = 500^{\circ}\text{C}$$

$$P = 300 \text{ Atm}$$



Le gaz ammonium (NH_4^+) peut être utilisé soit directement (ammoniac anhydre) soit pour la fabrication d'autres engrais azotés.

Les combustions industrielles de toute sorte, particulièrement des carburants fossiles, ont augmenté l'émission de gaz azotés actifs vers l'atmosphère où ils contribuent à la production d'ozone troposphérique (Pédro, 2007).

I.2.6. Engrais

L'azote minéral apporté par les engrais azotés est l'un des principales sources de l'azote pour les cultures. Leur disponibilité pour les racines et les micro-organismes dans le sol est tout d'abord définie par les conditions initiales d'application que sont principalement sa forme physique et sa localisation (Recous et *al*, 1996).

L'azote des engrais azotés synthétisés dérivant de la synthèse de l'ammoniac NH_3 , dans lequel N vient de l'air, et H des hydrocarbures pétroliers (Soltner^a, 2005).

De grandes quantités d'azote sont ajoutées à l'environnement sous la forme d'engrais appliqué aux cultures (Raven et *al*, 2007).

Chaque printemps, la distribution de l'engrais azoté l'ammoniac aux fermes est couramment observée parce que les additions d'engrais augmentent considérablement la production végétale (Graham et *al*, 2006).

I.2.7. Amendements organiques

L'azote du sol est représenté en majorité autour de 80% par des résidus organiques provenant de la décomposition des matières animales et végétales (Pelmont, 2005).

Les amendements organiques (fumiers, composts, etc.) apportent de la matière organique dans le sol. L'apport des fumiers peut se traduire à long terme par une augmentation de la capacité de rétention en eau, de l'activité biologique et du niveau de structuration du sol (Manna et *al*, 2007).

I.2.8. Apports par la pluie

L'action conjuguée des orages et du rayonnement ultraviolet peut transformer l'azote gazeux N_2 en oxyde d'azote puis en ammoniac NH_4OH . Entraîné par les pluies (Pousset, 2000; Soltner^b, 2005; Faurie et *al*, 2003 ; Davet, 1996).

L'azote météorique représente de 2 à 10 Kg par ha et par an, quantité tout à fait insuffisante pour assurer le développement d'une couverture végétale (Davet, 1996).

I.3. Formes de l'azote dans le sol

L'azote est présent sous différentes formes dans le sol (Bøckman et *al*, 1990):

- Formes minérales solubles: ammoniac, nitrate, oxydes d'azote;
- Composés organiques solubles: urée, acides aminés;
- Organismes vivants: racines, micro-organismes, animaux du sol;
- Formes non solubles: matière organique (organismes morts et décomposition, débris cellulaire, humus, ammoniac fixé sur les argiles.

Dans la nature; l'azote est présent sous deux états: à l'état libre (N_2) dans l'atmosphère et à l'état combiné, sous forme minérale (ammoniacale et nitrique essentiellement, les nitrates très toxiques n'ont qu'une présence éphémère) ou organique.

I.3.1. Azote total

La teneur des sols cultivés (horizon de surface) en azote total est comprise entre 0,1 et 0,5%. Les abaques de fertilité, que rapportaient Calvet et Villemin (1986) concernant l'azote total permettent d'établir le classement suivant:

- Sol très pauvre avec $N < 0,05\%$
- Sol pauvre avec $0,05\% > N > 0,1\%$
- Sol moyen avec $0,1\% > N > 0,15\%$
- Sol riche avec $0,15\% > N > 0,25\%$
- Sol très riche avec $N > 0,25\%$

L'azote total d'un sol constitue la réserve globale d'azote contenue dans l'humus, réserve dont la rapidité de mobilisation (par minéralisation) est très variable suivant le type d'humus (mull, mor, moder) (Mathieu et Pieltain, 2003).

I.3.2. Azote organique

Dans la couche supérieure du sol, 92 à 97% de l'azote se trouve sous forme organique (Stevenson, 1986 in Duguet, 2005). Cette fraction provient des micro-organismes mort ou vivants, des litières (en générale pailles, parfois copeaux de bois ou sciures) (Bodet et *al*, 2001).

L'azote organique est distingué dans le sol sous quatre compartiment (Corpen, 1991):

- Azote des résidus de cultures
- Azote de la biomasse bactérienne
- Azote organique labile de l'humus

- Azote organique stable de l'humus

Selon Willianus et Sparling (1984), 3 à 20 % de l'azote organique du sol est inclus dans la biomasse microbienne.

Les principales formes initiales de l'azote organique sont les protéines des végétaux et des micro-organismes. Viennent ensuite les amino-polysaccharides constituant de la membrane des champignons ou de la paroi des bactéries, des pigments comme la chlorophylle les acides nucléiques (Stengl *et al*, 1998).

L'azote organique est un élément plastique constituant de toutes les cellules animales ou végétales. Il joue également un rôle important comme métabolite puisqu'on en trouve dans les acides aminés, chaînes de base de toutes les protéines. Il entre aussi dans la construction des acides nucléiques sous formes de bases puriques et pyrimidiques (Faurie *et al*, 2003).

L'autre partie de la matière organique du sol est constituée par les êtres vivants constitués de la microfaune et la microflore (Bactéries, champignons, actinomycètes) et regroupés sous le terme générique de biomasse microbienne; celle-ci représente 3 à 4% du carbone et 2 à 6% de l'azote total du sol (Chaussod *et al*, 1986 in Nicolardot *et al*, 1996).

L'azote du sol est en grande partie sous une forme organique, il représente en général entre 90 à 95% de l'azote total. Les terres lourdes contiennent plus d'azote total que les terres légères. La matière azotée est constituée de protéines avec un taux compris entre 34 et 35% d'acides nucléiques, entre 3 et 10% d'amino- sucres dont le taux est compris entre 5 et 10% des composés de condensation ainsi que des formes complexes avec lignine, enfin les acides aminés quant à eux sont en très faibles quantités (Duchaufour, 1976).

I.3.3. Azote minéral

Selon Dommergues et Mangenot (1970), l'azote minéral quant à lui représente un taux inférieur ou égal à 5% de l'azote du sol.

C'est la somme de l'azote nitrique et de l'azote ammoniacal. Ces deux formes sont présentes dans la solution du sol et facilement extractibles au laboratoire. Les autres formes minérales, comme NO_2 , sont négligées (Baize, 1998).

La teneur du sol en ions ammonium et nitrate soit très variable selon la saison, l'humidité et la température étant donné que l'activité microbienne règle la production de ces ions et celles des plantes supérieures en conditionnent la consommation (Mathieu et Pieltain, 2003).

Dans le sol, l'azote minéral peut être présent sous trois formes: l'ion ammonium (NH_4^+) ou azote ammoniacal, l'ion nitrite (NO_2^-) ou azote nitreux et l'ion nitrate (NO_3^-) ou azote nitrique (Chambenoit *et al*, 2002).

I.3.3.1 Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal sous forme libre NH_3^- , ionisée NH_4^+ ou substituée R-NH_2 , est l'aliment azoté principal des champignons, des algues et de certaines bactéries. Les végétaux supérieurs peuvent absorber les ions NH_4^+ et même les plantes préférer cette forme lorsqu'elles sont jeunes: tomate, maïs, riz, pomme de terre, certains résineux... (Soltner^b, 2005).

L'azote ammoniacal est une forme transitoire, mais retenue par le système adsorbant. Résultant de l'ammonisation, les ions ammonium NH_4^+ sont retenus par les charges négatives du complexe argilo-humique.

Certain s'intercalent entre les feuillets des argiles gonflantes comme les ions K^+ . On dit qu'ils sont "fixés". Mais ils sont assez rapidement oxydés par les bactéries nitrificatrices qui les transforment en ions nitrates NO_3^- (Soltner^a, 2005).

L'azote ammoniacal ($\text{NH}_3^- + \text{NH}_4^+$) des sols est issu de la minéralisation de matière organique, des apports par les déjections animales et les engrais minéraux, de l'hydrolyse de l'urée et des dépôts atmosphériques (Recous et al, 1997).

L'azote directement assimilable par les êtres vivants pour leurs synthèses doit se trouver sous forme ammoniacale. C'est-à-dire à l'état le plus réduit. Pour de très nombreuses espèces bactériennes les ions ammonium offrent la source azotée la plus favorable à la croissance (Pelmont, 2005).

I.3.3.2. Azote nitrique

L'azote nitrique, sous forme d'ions NO_3^- des nitrates est cependant la forme préférée des plantes cultivées, notamment des graminées (Soltner^b, 2005).

Les ions nitriques NO_3^- non retenus par le système adsorbant, peuvent être perdus par lessivage s'ils ne sont pas adsorbés par des plantes ou par des bactéries (organisatrices), c'est-à-dire retransformé en azote organique (Soltner^a, 2005). La perte annuelle par lessivage peut être de 30 à 150 kg/ha sur sols nus, de 3 à 80 kg/ha sur sols cultivés, ce qui montre l'intérêt des cultures occupant le sol à l'automne, les « engrais verts » ou « cultures intermédiaires » (Gérald et Christiane, 2011).

I.3.3.3. Azote nitreux

L'azote nitreux est une forme de transition, éphémère, soit de l'oxydation de N-NH_4^+ en azote nitrique N-NO_3^- , soit de la réaction inverse de réduction (Barroin et al, 1996).

I.4. Dynamique de l'azote dans le sol

I.4.1. Ammonification

Un très grand nombre de bactéries et de champignons est capable de transformer l'azote de la matière organique en azote ammoniacal, aussi bien en conditions aérobies qu'en anaérobiose (Davet, 1996).

Les organismes rejettent l'azote de leurs cellules ou de leurs tissus sous forme d'ammoniac, produit final classique de la décomposition. Ce processus, appelé ammonification est favorisé par l'activité des bactéries pourvues de désaminases qui coupent le groupement amine des composés organiques azotés pour former l'ammoniac (Perry et al, 2004).

La caractéristique de la nitrogénase, l'enzyme qui catalyse la réduction de N_2 en NH_4^+ est de régler en grande partie de la biologie de la fixation de l'azote (Stuart Chapin III et al, 2002).

Les molécules contenant de l'azote comme les protéines des plantes et des animaux, sont rapidement décomposées par certains procaryotes et champignons. Ces procaryotes et champignons utilisent les acides aminés provenant de la décomposition pour synthétiser leurs propres protéines et ils libèrent l'azote en excès sous la forme d'ions ammonium (NH_4^+) c'est l'ammonification (Raven et al, 2007)

Le métabolisme des êtres vivants implique l'élimination de déchets azotes. Les cadavres constituent aussi partiellement une source de matière azotée organique. De nombreux organismes hétérotrophes, bactéries, actinomycètes et champignons, vivent de ces substrats organiques en libérant de l'azote inorganique (NH_4^+). C'est un processus de minéralisation appelée ammonification. L'énergie est utilisée par les bactéries (Barbault, 2003).

Les facteurs de l'ammonification :

- Une température basse ou élevée
- pH de l'ordre de 4,0

I.4.2. Nitrification

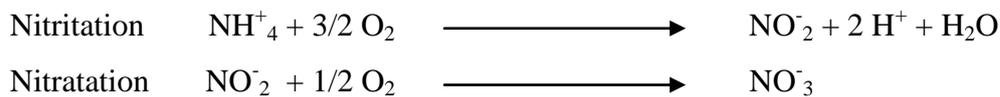
La nitrification est la transformation des ions NH_4^+ ions NO_3^- qui sont absorbés par les plantes cultivées pour leur nutrition ou bien lixiviés (ou lessivés), par les eaux de drainage lorsqu'il n'y a pas de prélèvement racinaire (Bodet et al, 2001).

La nitrification est le processus par lequel les bactéries aérobies transforment l'ammoniaque (NH_4^+) en nitrate (NO_3^-) (Graham et al, 2006).

Dans les sols bien aérés, les bactéries nitrifiantes peuvent oxyder NH_4^+ en NO_2^- (nitrite) et en NO_3^- (nitrate) et retirer l'énergie nécessaire à leur chimiosynthèse. Ces bactéries décomposent la matière organique pour produire l'ion ammonium NH_4^+ qui est transformé en ion nitrite

(NO₂⁻) par des bactéries du genre *Nitrosomonas* (nitrosation) puis en ions nitrate (NO₃⁻) sous l'effet des bactéries *Nitrobacter* (nitratisation) (Lêveque, 2001 ; Lêveque et Mounolou, 2001; Barbault, 2003).

Donc la nitrification biologique s'effectue en deux étapes et selon les réactions suivantes (Stengel et Gelin, 1998 ; Torrijos et Bernet, 2002 ; Ramade, 2003):



I.4.2.1. Facteur de la nitrification dans le sol

Ces facteurs sont indiqués brièvement ci-après (Morel, 1996 ; Stengel et Gelin, 1998 ; Nicolardot et *al*, 1996):

- Présence de CO₂ ou de carbonates
- Présence d'oxygène
- Présence d'ions ammonium
- Teneur en eau du sol: l'activité maximale se situe aux environ 50 à 60% de la capacité de rétention.
- Température entre 30 et 35°C pour une activité maximale.
- Le maximum d'activité des nitrificateurs se situe entre les pH 6,6 et 8,0.

La nitrification est l'oxydation microbienne de l'ammonium en nitrites et en nitrates. Il est admis que l'essentiel de cette oxydation est le fait d'une microflore nitrifiante autotrophe aérobie strict, constitué dans le sol d'un nombre restreint de genres bactériens. Il existe aussi une flore nitrifiante hétérotrophe constituée de bactéries et de champignons, capable de produire du nitrate en conditions aérobies à partir d'ammonium ou d'azote organique (Cellier et *al*, 1997).

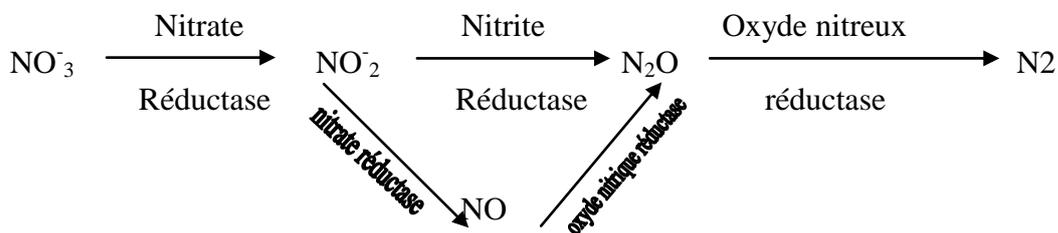
Le processus de nitrification se déroule en deux étapes, dont la première est l'oxydation de l'ammoniac en nitrite et la seconde l'oxydation des nitrites en nitrates. Comme pour la fixation de l'azote, cette transformation n'est réalisée que par les bactéries (Perry et *al*, 2004).

La nitrification est le processus aérobie d'oxydation de l'ion ammonium (NH₄⁺) en nitrite (NO₂⁻) et l'oxydation subséquente du nitrite en nitrate (NO₃⁻) (Prescott et *al*, 2003 ; Graham et *al*, 2006).

I.4.3. Dénitrification

La dénitrification est la transformation de l'azote nitrique en azote gazeux (azote moléculaire, protoxyde d'azote) (Nicolardot *et al*, 1996 ; Tortora *et al*, 2003 ; Rose et Muller, 2006). Elle est due à l'activité d'une microflore bactérienne anaérobie (bactéries dénitrifiantes et hétérotrophes au carbone) qui agit en sens inverse des bactéries fixatrices d'azote. Ces bactéries (*Pseudomonas*, *Nitrococcus*) décomposent les nitrates en nitrites mais également en protoxyde d'azote N_2O et en azote gazeux (N_2) (Lévêque, 2001).

La séquence enzymatique de la dénitrification biologique est la suivante (Stengel et Gelin, 1998) :



D'après Morel, (1996), les facteurs de la dénitrification dans le sol sont :

- Présence d'accepteurs d'électrons nitriques ou nitreux (NO_3^- , NO_2^-).
- Présence d'oxygène.
- La rhizosphère, dans laquelle la population dénitrifiant se révèle très nombreuse.
- La zone inerte des agrégats.
- La proximité de débris organiques, débris qui conduisent une prolifération microbienne intense à l'origine de l'épuisement rapide du site en oxygène.
- Présence de substances libératrices d'électrons (matières organiques en voie de décomposition).
- Une température de l'ordre de $60^\circ C$ pour une dénitrification optimale.
- Un pH entre 7 et 8 pour une dénitrification optimale.
- Présence de la végétation qui favorise la dénitrification par ses apports organiques.

La dénitrification est une des fonctions biologiques des sols. Elle correspond à un monde d'abaissement de la charge nitratée des eaux et des sols. Ce phénomène a toutefois une portée limitée. En effet, même dans les sols riches en nitrates, seulement 20% de l'azote total est décomposé par la voie de dénitrification et réparti dans le compartiment atmosphérique. Ce phénomène est favorisé par le labourage des sols et la mise en place des étangs (Fischesser et Dupuis-tate, 2007).

Les bactéries anaérobies effectuent la dénitrification dans des environnements pauvres en oxygène comme les sols gorgés d'eau, des eaux usées, des sols fortement fertilisés, ou profondément sous terre près de la nappe phréatique (Graham et *al*, 2006).

La dénitrification est un phénomène biologique résultant de l'activité de bactéries dénitrifiantes, pour l'essentiel anaérobies. Elle est possible lorsque les ressources en carbone et en nitrate sont suffisantes pour soutenir l'activité bactérienne et se produit lorsque les conditions deviennent anérobies (sol tassé ou gorgé d'eau) (Germon et *al*, 1999).

I.4.4. Immobilisation

Il s'agit d'un phénomène d'organisation de l'azote dans les matières organiques du sol (Bodet et *al*, 2001).

L'azote minéral du sol est également prélevé par les micro-organismes décomposeurs pour l'élaboration de leurs propres constituants cellulaires (Stengel et Gelin, 1998).

L'azote ammoniacal ou nitrique est assimilé et transformé en azote organique par la microflore (Nicolardot et *al*, 1996).

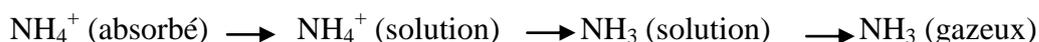
Ce phénomène se manifeste lorsque la teneur en azote de la matière organique incorporée au sol est faible (1,2 à 1,3 % de la matière sèche), ce qui correspond à un rapport C/N supérieur à 30, la quantité d'azote ne suffit pas pour assurer l'alimentation de la micropopulation; celle-ci complète alors son approvisionnement en prélevant de l'azote dans le sol qui l'environne (apporté par un engrais ou bien libéré par des minéralisations antérieures) (Morel, 1996).

L'immobilisation est le déplacement de l'azote inorganique de l'ensemble disponible par absorption microbienne et la fixation chimique (Stuart Chapin III et *al*, 2002).

Dans le sol, une partie de l'azote minéral est réorganisé sous forme de matières organiques, qui peuvent être à leur tour minéralisées en nitrate et ce nitrate à son tour à nouveau réorganisé: c'est le cycle inerte de l'azote (Mariotti, 1997).

I.4.5 Volatilisation d'ammoniac

La volatilisation correspond à la perte d'azote par voie gazeuse, sous forme d'ammoniac. C'est un processus physico-chimique résultant de l'évolution suivante:



Les pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac, très variable, sont étroitement liées aux conditions de sol (pH, capacité d'échange, porosité, teneur en eau,...), ainsi qu'aux conditions climatiques locales (précipitation, température, vitesse du vent, humidité de l'atmosphère,...) (Schvartz et *al*, 2005).

Ces pertes sont particulièrement élevées dans les conditions suivantes (Dommergues et Mangenot, 1970).

- pH supérieur à 8.0 (sol calcaire)
- Température élevée et dessiccation
- Application d'engrais en surface
- Faible capacité d'échange.

La volatilisation de l'azote est un phénomène physico-chimique qui varie en fonction de nombreux paramètres à la fois agronomiques (travail du sol, présence d'un couvert), pédologiques (pH du sol, activité microbienne) et climatiques (vent, température).

I.4.6. Lessivage des nitrates

Le lessivage est l'entraînement d'éléments minéraux du sol vers le sous-sol sous l'action de la percolation de l'eau. Contrairement à l'azote ammoniacal (NH_4^+) retenu par le complexe argilo-humique, l'ion nitrate (NO_3^-) est facilement entraîné (Chambenoit et *al*, 2002).

I.5. Conclusion

L'azote est un élément nutritif indispensable à la croissance des plantes, il provient au sol, de plusieurs sources ; tels que les résidus de récoltes, les engrais, les amendements organiques.....

Il se trouve sous différentes formes ; gazeux, organique ou minéral (nitrique NO_3^- , ammoniacale NH_4^+). Seules les cultures légumineuses ont la faculté de fixer l'azote gazeux par leurs nodosités (fixation symbiotique) ou par certaines bactéries aérobies ou anaérobies ou encore des algues bleues. Les plantes absorbent la forme ammoniacale et nitrique pour sa croissance.

Le cycle de l'azote, se traduit par l'échange de ce dernier entre l'atmosphère et la biosphère, par le biais des microorganismes. Il passe par plusieurs transformations ; l'ammonification, nitrification, dénitrification et volatilisation. Ces transformations sont conditionnées par certains facteurs comme le pH, la température, la présence ou l'absence de l'oxygène etc. L'azote subit une série de transformations qui lui permettent de devenir assimilable et de participer à la formation des êtres vivants.

Chapitre II

Les sols gypseux

Chapitre II: Les sols gypseux

II.1.Introduction

Les « sols gypseux » sont mentionnés en tant que tels dans la plupart des classifications, à différents niveaux et avec une assez grande diversité de termes et de définitions. Les « sols gypseux » (au sens large) sont largement répandus et apparaissent typiques des régions arides et semi-arides (précipitations annuelles < 300-400 mm): Tunisie, Algérie, Syrie, Irak, sud de l'ex-URSS et de l'Espagne, Texas, Mexique, sud de l'Australie, Namibie, etc (Baize et Girard, 2008).

Van Alphen et Rios Romero (1971), désigné sous le nom sol gypseux, les sols à teneur supérieur à 2% de gypse, alors que la légende révisée de la carte du sol du monde (F.A.O, 1988) définit "sol gypseux" quand il contient 5 % ou plus du gypse.

II.2. Répartition spatiale des sols gypseux dans le monde

Les sols gypseux sont largement répandus dans les zones arides et semi-arides, leur surface totale est estimée de 707,000 Km² (Boyadgiev, 1985). Ils sont localisés dans les régions des déserts, avec une moyenne des précipitations annuelles inférieure à 250mm (Watson, 1983, 1985) (Fig.2).

Ils se rencontrent au Nord de l'Afrique, le Sud – Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphen et Rios Romero, 1971), l'Argentine, le Chili, et l'Australie (F.A.O, 1990) (Fig .3).

La distribution des sols gypseux au Nord et à l'Est de l'Afrique, l'Europe du sud et le Sud-Ouest de l'Asie a été cartographiée à petite échelle par Van Alphen et Rios Romero (1991) in Porta, (1998) et dans le monde par Eswaran et Zi-Tong (1991).

En Algérie, les sols gypseux occupent approximativement 8000Km², qui représentant 12,2% des sols gypseux du monde (F.A.O, 1990) (Tab.4).

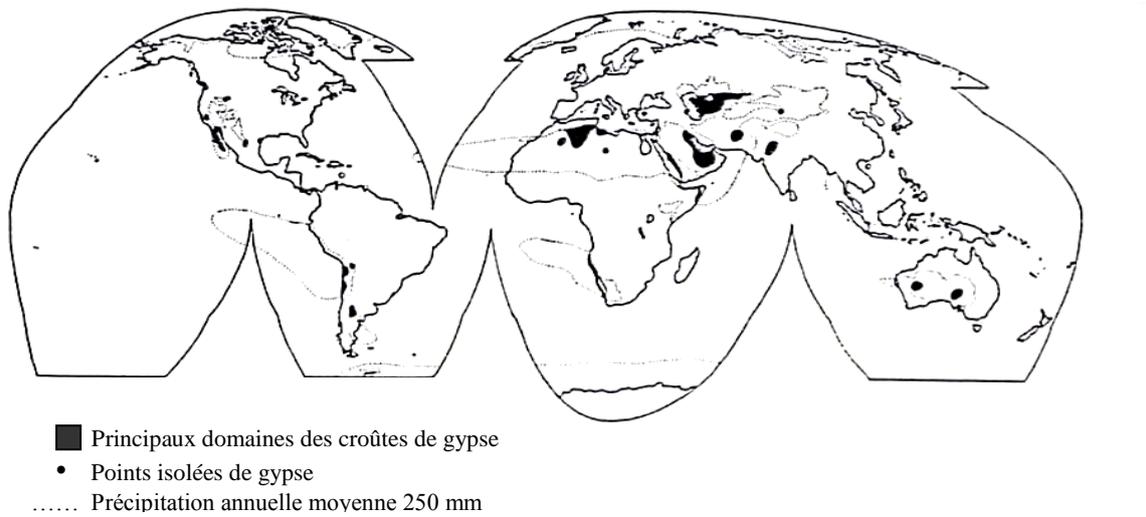


Figure 2: Distribution générale des surfaces d'accumulation de gypse (exception des roches déposées) (Watson, 1985).

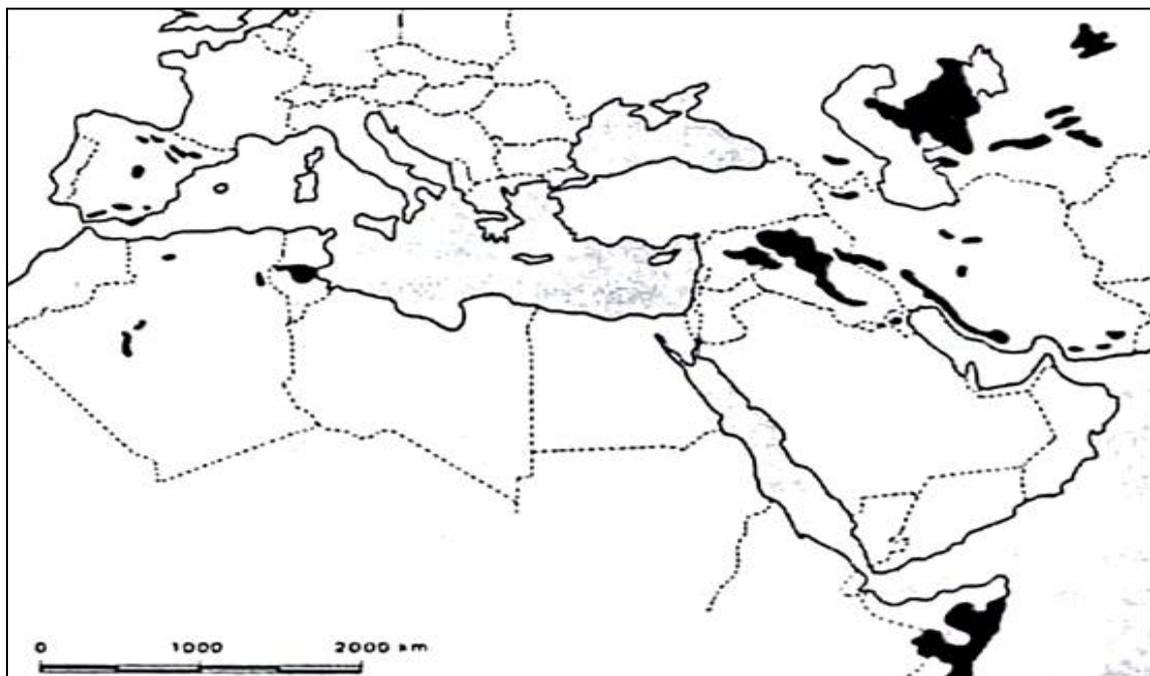


Figure 3: Distribution des sols gypseux dans le Nord et l'Est de l'Afrique, le Sud – Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphen et Rios Romero, 1971).

Tableau 4: Distribution des sols gypseux par pays (F.A.O, 1990).

Continent	Pays	Km ²	% du total du pays	% de la surface des sols gypseux du monde
Afrique	Maroc	1114,3	2,5	1,7
	Algérie	7966,3	3,3	12,2
	Tunisie	1439,8	9,3	2,2
	Libye	3956,8	2,2	6,0
	Egypte	382,2	0,4	0,6
	Soudan	78,0	0,3	1,2
	Somalie	10161,2	16,2	15,5
	Ethiopie	1423,4	1,3	2,2
	Mali	2818,3	2,3	4,3
	Mauritanie	396,0	0,4	0,6
	Namibie	5327,7	6,5	8,2
Asie du sud	Syrie	3966,6	21,6	6,0
	Jordanie	80,5	0,8	0,1
	Arabie saoudite	82,5	0,04	0,1
	Oman	471,6	-	0,7
	Yémen A.R.	2931,0	8,8	4,5
	Kuwait	354,6	-	0,5
	Iraq	4779,2	11,0	7,3
	Iran	4,2	-	-
	Pakistan	9,4	0,01	-
	Inde	182,0	0,06	0,3
Centre de l'Asie	USSR	5074,1	0,2	7,7
	Mongolie	60,9	0,04	0,1
	Chine	11484,9	1,2	17,5
Europe	Turquie	64,2	0,08	0,1
	Espagne	165,5	0,3	0,3
Nord de l'Amérique	Nouveau-Mexique	78,0	-	0,1

II.3. Origines du gypse

Les hypothèses et les théories expliquant les origines et les processus de l'accumulation du gypse dans le sol, ont fait l'objet de nombreux travaux (Bellair, 1954 ; Trichet, 1963 ; Dekkiche, 1974 ; Kulke, 1974 ; Watson, 1980 ; Halitim, 1988 ; Artieda et Herrero, 1996). Il ressort que les principaux facteurs qui régissent la présence du gypse dans le sol sont: la présence d'une source de gypse, la topographie et l'aridité du milieu (Bellanca et Neri, 1993). Donc ils sont liés aux caractéristiques spécifiques de chaque région d'étude.

Les roches gypseuses dans le bassin de l'Ebro en Espagne ont été produits dans un environnement endoréique continental, d'un complexe de playa-lake, par les sulfates dissous provenant de trois sources: les Pyrénées, la cordillère ibérienne, et les montagnes des

Catalanides (Artieda et Herrero, 1996). L'abondance et la profondeur de ces gisements de sulfate supposent une source importante.

Selon Mandado 1987 in Artieda et Herrero (1996) les mécanismes de formation les plus probables sont trois: (1) l'oxydation des sulfures contenus dans les roches dans les zones de source, et leurs transports; (2) l'entrée des eaux de mer dans le bassin; et (3) la dissolution des roches contenant des sulfates dans les zones de source, par exemple les faciès de Keuper (Artieda et Herrero, 1996).

Van Alphen et Rios Romerio (1971) ont mentionné que les dépôts de gypse solides ou intercalés présents dans la vallée de l'Ebro en Espagne, viennent des périodes de transition du Miocène Supérieur et Oligocene-Eocène. Les autres gisements de gypse trouvés dans la vallée de Tajo, le sud-ouest de Madrid appartiennent probablement au Miocène inférieur.

L'origine du gypse est peut être évaporitique; c'est le produit des eaux souterraines saturées. Le gypse, précipité dans les pores, peut être incorporé à la matrice du sol par l'activité faunique. Des cycles successifs, de ce processus mèneraient à la formation des horizons hypergypsiques (Barzanji et Stoops, 1974 in Poch, 1992 b).

Herrero et al (1996) dans l'étude de la dépression centrale de Catalane trouvent que les sols gypseux sont situés aux pieds des pentes d'un anticlinal, sur les matériaux colluviaux. Donc l'origine du gypse peut être en partie colluviale, quoique quelques fractions puissent être transportées par dissolution par l'écoulement souterrain le long des pentes.

Les sols gypseux et solonchaks gypsiques de la plaine inondable (Milieu Europhrates) de Syrie sont décrits et caractérisés par Florea et Al-joumaa (1998). Ces sols, développés sur des dépôts alluviaux et des glacis se composent des sédiments gypseux déposés par l'eau et transportés des secteurs voisins les plus hauts.

Le gypse peut avoir au moins trois origines éventuelles:

II.3.1. Origine géologique

Le gypse peut être contenu dans le substrat géologique (sédiment et roches). Ce substrat peut alimenter soit le sol qu'il supporte, soit les alluvions qui en dérivent, soit les sols des zones basses (Kadri, 1987).

II.3.2. Origine hydraulique

L'eau, quelle soit souterraine ou superficielle, contenant l'ion calcium et l'ion sulfate dissous, peut donner naissance à un dépôt gypseux par l'effet de l'évaporation et de la concentration (Pouget, 1968).

L'eau d'écoulement de montagne est la première source de gypse pour le sol (Toomanian et al, 2001).

II.3.3. Origine éolienne

La contribution du vent à la formation des accumulations gypseuses à été étudiée par plusieurs chercheurs (Coque, 1962; Trichet, 1963; Pouget, 1968). Les croûtes résultant d'un saupoudrage intermittent de poussières surtout salines, diffusées dans l'atmosphère par le vent. La cimentation de ces dernières serait le résultat de l'infiltration des eaux pluviales dans les recouvrements éoliens.

II.4. Formes du gypse dans le sol

Dans le sol, le gypse se présente sous différentes formes, en fonction des conditions dans lesquelles il précipite. Les différents travaux (Pouget, 1968 ; Dekkiche, 1974 ; Stoops et Ilawi, 1981 ; Nettleton et *al*, 1982 ; Abrukova et Isayeh, 1983 ; Watson, 1985, 1988 et 1989 ; Pankhanova et Yamnova, 1987 ; Halitim, 1988 ; Boyadgiev et Sayegh, 1992 ; Herrero et *al*, 1996 ; Bensaid, 1999) révèlent que le gypse dans le sol peut être sous des formes pulvérulentes, en pseudomycéliums, en amas, en nodules, en roses de sables, en encroûtements, en croûtes massives ou en croûtes polygonales.

Le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) est formé d'une solution aqueuse, ou de l'hydratation de l'anhydride. Il se cristallise sous forme d'un prisme monoclinique et occupe finalement la forme granulaire (alabastre), comme un agrégat fibreux (gypse salin, sélénite) ou se rassemble comme une rose (rose de désert) (Boyadgiev et Sayegh, 1992).

Les cristaux du gypse peuvent être automorphes; limités par des faces nettes, apparaissant comme des jumeaux. Ils peuvent être xénomorphes, avec des limites irrégulières. La morphologie xénomorphe peut naître par une interférence mutuelle durant le développement du cristal (cristaux grenus) ou par dissolution partielle.

Les cristaux automorphes, se présentent sous de nombreuses formes (Jafarzadeh et Burnham, 1992) :

- Cristaux plats avec un bon développement de la surface basale. Ils peuvent être rhomboédriques ou hexagonaux (tabulaire).
- Cristaux allongés en forme de lentilles (lenticulaires).
- Cristaux solides et surtout définis par des faces complètement parallèles ce sont les cristaux prismatiques.
- Cristaux très minces à faces solides, pointus comme une aiguille ce sont les cristaux aciculaires.
- Cristaux très minces souvent incurvés ou ondulés ce sont les cristaux fibreux.
- Cristaux occasionnellement trouvés, minces, tubulaires, lesquels peuvent être tordus (worm tube), ou se présentent disloqués et ouverts à la fin (flower tube).

Bureau et Roederer (1960) ont décrit les accumulations gypseuses, en Tunisie comme suit:

- Amas (Spots) : Poches localisées de cristaux lenticulaires.
- Pulvérulent (Powdery) : Poches de gypse, granuleux blanc et fin; morphologie du cristal non claire.
- Encroûtement (Crusty) : Couche qui n'est pas dure, ni massive; équivalent aux horizons gypsiques et hypergypsiques.
- Croûte (Crust): Couche de gypse dure et massive; équivalent aux horizons pétrogypsiques.
- Polygonal : Une croûte exposée à la surface montrant un modèle polygonal.

En tenant compte de leur mode de formation, les formes de gypses observées par Herrero et *al* (1996), en Espagne dans le champ de quatre dépôts alluviaux sont:

- Gypse vermiforme, nodule et couche.
- Cristallisations dures.
- Gypse pulvérulent (horizons de gypse lenticulaire).
- Horizons microcristallines (horizons de gypse se rassemblent aux roses).
- Couches couchés de gypse.
- Autre cristaux de traits pédologiques.

Cinq formes de gypse de néoformations, caractéristiques de l'horizon possédant une concentration élevé en gypse on été identifiées par Verba (1996). Ces formes sont strictement limitées à certains types des sols qui se différencient dans les conditions de leurs pédogenèses (tableau 5)

Tableau 5: Formes de gypse de néoformations et leurs caractéristiques (Verba, 1996).

Formes de gypse de néoformations	Unité de sol	Conditions de formation du sol	Caractéristique de la microstructure
1. Pulvérulent	Petric Gypsisols	Altérations fréquentes de l'humidification et le séchage des sols en surface	Grande diversité des formes des cristaux de gypse
1.1. « Marneux »	Petric Gypsisols	Relativement plus humide	Abondance des calcaires pseudomorphes de différent degré de manifestation, jusqu'à la formation de cristaux négatifs
1.2. «Crummy »	Petric Gypsisols	Relativement moins humide	Prédominance uniforme de cristaux de gypse rombohedral, apparition des blocs séparés et la dispersion des carbonates
2. Incrusté	Luvic Calcisols (sierozems)	Zone de bord capillaire	Accumulations instables dans les pores des cristaux désordonnés et souvent corrodés de gypse
3. Concrétionné	Luvic Calcisols (sierozems)	Carbonatation des concrétions de gypse dans les conditions paleohydromorphiques	Concrétions abondantes de carbonate-gypseux « hedgehog » de structure complexe
4. Columnaire (« beaded »)	Calcic Gypsisols	Précipitation du gypse dans la partie basse des fragments grossiers des solutions migratrices vers le bas	Cristaux prismatiques qui s'assemble sous forme de queues d'hirondelle
5. Lenticulaire	Haplic Gypsisols	Zone de contact avec les eaux souterraines	Cristaux de forme lenticulaire qui se consolidé

II.5. Caractéristiques des sols gypseux

La présence du gypse dans le sol affecte la plupart de leurs propriétés, causant des problèmes sévères d'ordre physiques, chimiques et des problèmes de fertilités (Mashali, 1996).

Cependant, quant les particules de gypse sont présentes dans la couche superficielle, leur type, leur quantité, et leur degré de cristallisation à un impact profond sur les propriétés physiques et physico-chimiques du sol et sur la croissance des plantes (F.A.O, 1990).

II.5.1. Propriétés chimiques des sols gypseux

II.5.1.1. Formes hydratées et déshydratées du sulfate de calcium

Le gypse est un sel soluble (sulfate de calcium hydraté). Sa solubilité est de 2,6 g/l dans l'eau pure à 25°C et à une pression de 1 atmosphère (Herrero et Porta, 1990). Il constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol (Eswaran et *al*, 1981).

Weiser et *al* 1936 in Jauzein (1974) suggèrent que la déshydratation de gypse soit accélérée à 60°C sous une pression de vapeur d'eau de 23,6mm; c'est-à-dire la tension de vapeur saturée à 25°C (figue. 4), laissant 0,01 mol d'H₂O pour chaque mol de CaSO₄ à 200°C. Cette anhydrite réversible a une capacité d'hydratation assez forte en fonction de la température de déshydratation au cours du temps.

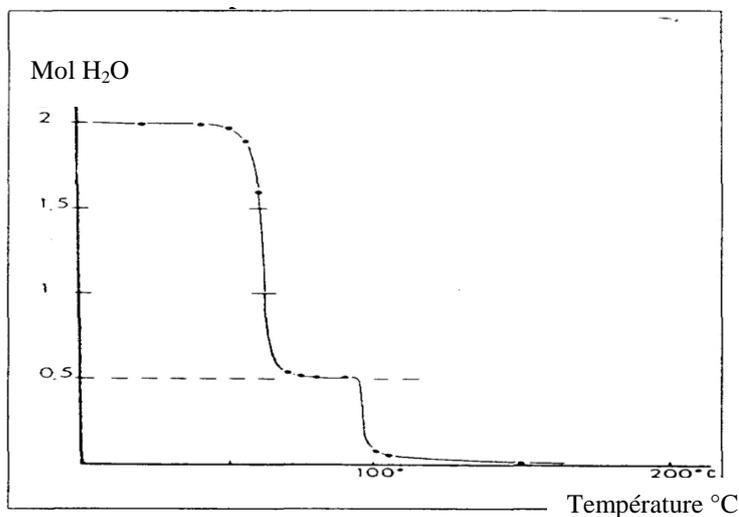


Figure 4 : Déshydratation du gypse à température croissante (Weisser et *al* 1936, in Jauzein, 1974)

Les principales formes des états du CaSO₄ sont les suivantes (Vieillefon, 1979):

- **Phase hydratée** : gypse, monoclinique
- **Phase semi-hydratée** : hemihydrate
 - * naturel : bassanite
 - * artificiel :
 - Variété α : préparé en solution ou en autoclave
Donc en présence d'un excès d'eau sous forme liquide ou vapeur.
 - Variété β : préparé en absence d'eau.
- **Phase anhydre** : anhydrite
 - * naturel: orthorhombique

* artificiel :

- Anhydrite « réversible » ou anhydrite III obtenu par chauffage au-dessous de 200°C et non réhydratable.
- Anhydrite « irréversible » ou anhydrite II obtenue au dessus de 2000°C et non réhydratable.
- Plâtre surcuit ou γ - CaSO_4 , obtenu au dessus de 1000°C.

II.5.1.2. Relations de solubilité

II.5.1.2.1. Solubilité du gypse dans l'eau pure en fonction de la température

Jauzein (1974), basé sur d'autres recherches, donne un graphe de la solubilité du gypse, bassanite et anhydrite, en fonction de la température (fig.5).

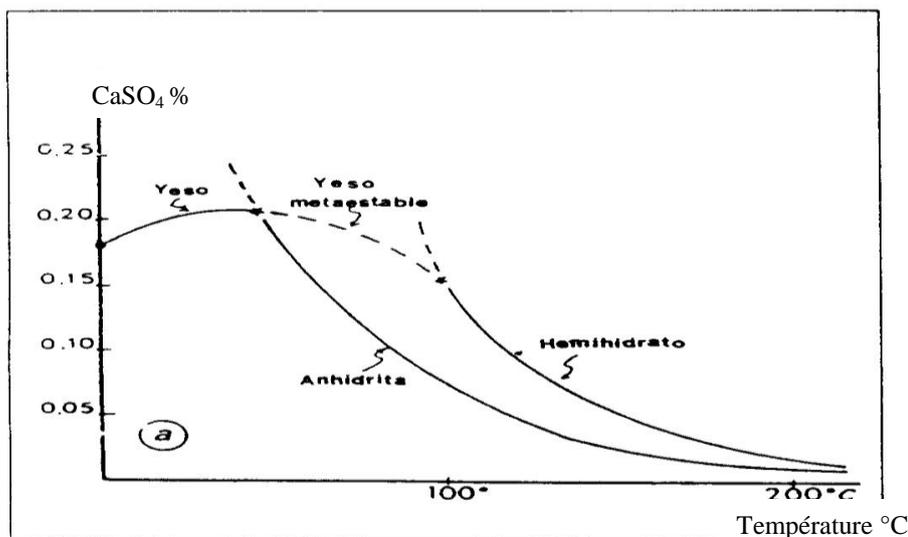


Figure 5: Différentes phases de la solubilité du $\text{CaSO}_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ dans l'eau pure en fonction de la température (Weisser et al 1936, in Jauzien, 1974)

II.5.1.2.2. Solubilité du gypse en présence des sels solubles

Le gypse est un électrolyte faible, sa solubilité est modifiée lorsque la solution contient des électrolytes forts ayant ou non des ions communs avec lui (Pouget, 1968 ; Sonnenfeld, 1984).

La solubilité du gypse dans une solution aqueuse salée contenant Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , et SO_4^{2-} a été examinée expérimentalement en employant des voies différentes pour calculer les

coefficients d'activités d'ion monovalents et différents ions bivalents. Une approche d'analyse de sensibilité peut être employée pour déterminer qui est la meilleure équation d'adaptation pour représenter le coefficient d'activité d'ion simple et quels ions pairs sont nécessaires pour être inclus (Arslan et Dutt, 1993).

La présence de NaCl dans la solution peut augmenter considérablement la solubilité du gypse (Schreiber et Schreiber, 1977).

Kovda (1965) indique que la solubilité du gypse augmente avec la présence des chlorures, particulièrement les chlorures de sodium et de magnésium. Les tableaux 6 et 7 expliquent la relation entre le gypse et les sels solubles.

Tableau 6: Solubilité du gypse en présence du chlorure de magnésium MgCl₂ (Pouget, 1968).

Concentration en g/l dans la solution		
MgCl ₂	CaSO ₄	H ₂ O
0,00	02,08	997,9
08,50	04,26	996,5
19,18	05,69	994,5
46,64	07,59	989,1
121,38	08,62	992,2
206,98	06,57	949,9
337,00	02,77	908,7
441,10	01,39	978,6

Tableau 7 : Influence de la concentration de chlorure de sodium (NaCl) sur la solubilité du gypse (Anselme et Cameron in Durand, 1953).

Concentration en g/l								
NaCl		0,0	02,925	14,62	58,50	131,6	206,7	292,6
CaSO ₄	14°C	01,10	02,79	03,68	05,72	07,20	06,30	05,30
	20°C	02,10	03,15	04,00	06,00	07,30	06,30	05,30

II.5.1.2.3. Action du pH sur la solubilité du gypse

Le pH influe aussi sur la solubilité du gypse, en raison de l'attachement des ions H⁺ sur les anions SO₄⁻. La solubilité est élevée à pH bas (Artieda et Herrero, 1996). Mais ce phénomène ne peut guère intervenir car dans tous les sols gypseux étudiés le pH est toujours supérieur à 7 (Pouget, 1968).

II.5.1.2.4. Effet de la pression du gaz carbonique (CO₂) sur la solubilité du gypse

La pression de CO₂ affecte aussi la solubilité de gypse quand les carbonates sont présents, due à l'augmentation des ions dans la solution (l'effet d'ion commun) et la réduction consécutive de la solubilité (Artieda et Herrero, 1996).

II.5.1.2.5. Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité

La solubilité du gypse est également en relation étroite avec la taille de ces particules. Elle croît avec la finesse de celle-ci (fig. 6):

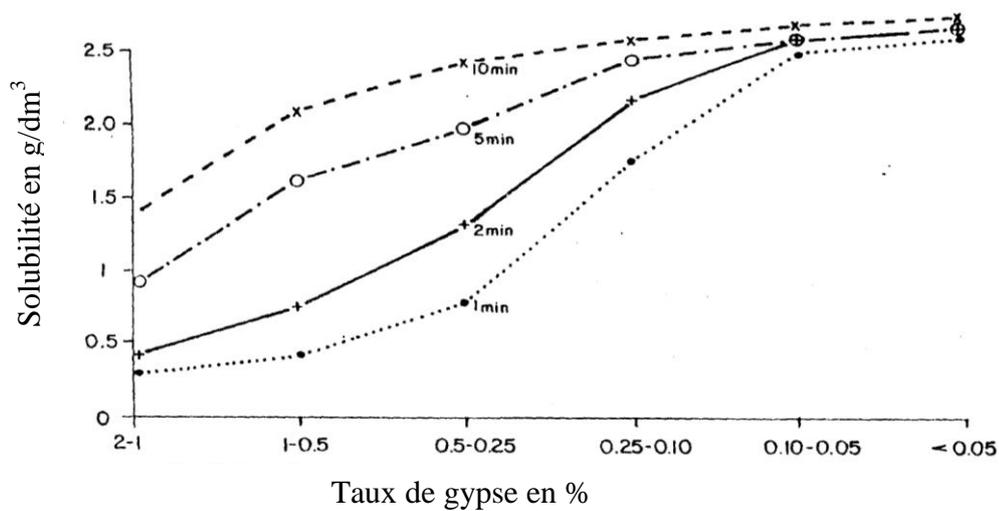


Figure 6: Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité dans l'eau (F.A.O, 1990).

II.5.1.3. Interaction gypse – calcaire

Plusieurs travaux (Boyadgiev, 1974 ; F.A.O, 1990 ; Florea et Al-Joumaa, 1998) ont montré que l'augmentation du taux de gypse entraîne la diminution de la teneur en calcaire et vis versa.

Florea et Al-Joumaa (1998) présenté la relation suivante :

$$\text{CaCO}_3 = 23,12 - 0,174 \text{ gypse} \quad \text{ou} \quad \text{gypse} = 75,04 - 2,117 \text{ CaCO}_3$$

Pour l'horizon C, le coefficient de corrélation $R^2 = 0,368$

L'étude microscopique en zone aride de l'Algérie faite par Halitim et Robert (1987) montre qu'un envahissement de l'accumulation calcaire par le gypse avec une désintégration et une

dilution au niveau du calcaire. Ils pensent que ce phénomène est dû à la pression de cristallisation du gypse qui est de l'ordre de 1,100 Kg/Cm² qui détruit les individualisations calcaires par suite de l'arrivée continue des solutions sulfato- calciques, et leurs précipitations à ce niveau.

II.5.1.4. Relation entre le gypse et la capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique des sols dépend, généralement de la teneur en matière organique, de la texture du sol et le type des minéraux argileux. La plupart des sols gypseux sont pauvres en matière organique et en conséquence la contribution des colloïdes organiques à l'élévation de la capacité de rétention est faible (F.A.O, 1990).

Poch (1992 a) trouve dans son étude dans la vallée de l'Ebro en Espagne, que les valeurs de la CEC sont faibles, variant entre 1,04 et 21,5 meq/100g. Dans les horizons hypergypsiques, la CEC est plus faible (1 à 8 meq/100g) que dans le reste des échantillons, à l'exception des échantillons qui contiennent des taux élevés en matière organique. La fig 7 représente la variation des valeurs de la CEC avec la variation du taux de gypse. Elle a remarqué qu'avec un faible taux de gypse la CEC est fortement variable, en outre l'augmentation du taux de gypse dans le sol provoque la diminution des valeurs de la CEC.

Quand les échantillons avec moins de 5% du gypse sont exclus, une nouvelle corrélation existe entre le taux de gypse et la CEC ont été représenté par l'équation linéaire suivante:

$$\text{CEC meq/100g} = 16,49 - 0,16 (\% \text{ gypse})$$

Avec le coefficient de corrélation $R^2 = 0,708$.

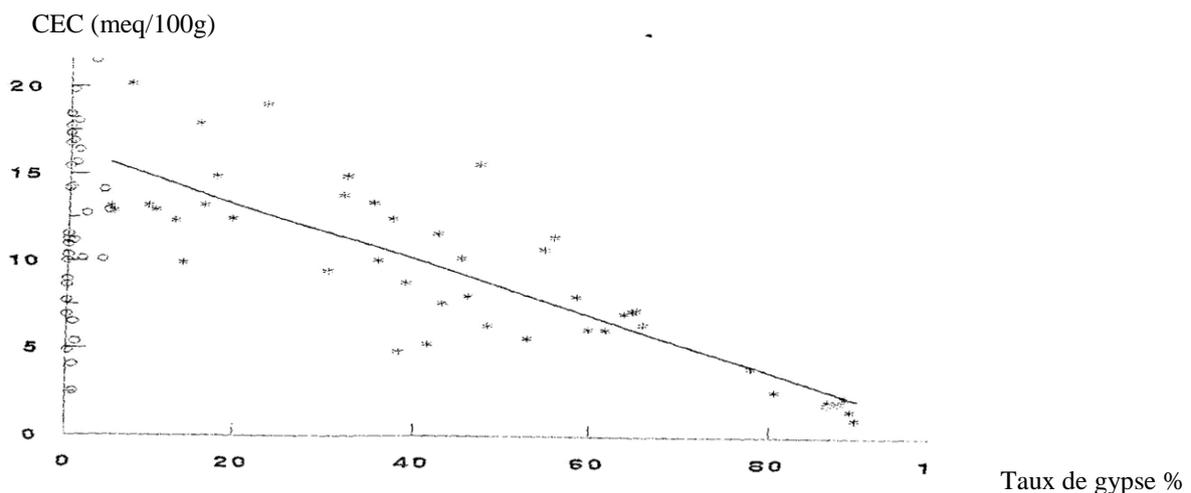


Figure 7: Relation entre la capacité d'échange cationique et le taux de gypse (Poch, 1992 a).

II.5.2. Propriétés physiques des sols gypseux

II.5.2.1. Texture

La texture des sols gypseux, dépend largement de la nature du matériau parental dans lequel le sol s'est développé (Van Alpen et Rios Romero, 1971). Cependant, elle est fortement influencée par la présence des teneurs élevées des cristaux de gypse.

Poch (1992 a), dans une étude sur les sols gypseux de l'Espagne, indique que la texture est étroitement liée à la teneur en gypse; à des faibles teneurs, la texture est déterminée par le matériau parental. Cependant, l'augmentation des teneurs en gypse engendre, d'une part, la formation d'une texture à dominance de limons et de sables en raison d'une cristallisation grossière, d'autre part, elle induit une diminution des teneurs en argile.

La détermination de la texture des sols gypseux avec la méthode standard de la pipette de Robinson peut poser différents problèmes (S.C.S, 1972 in Poch, 1992 b).

Les caractéristiques du gypse sont responsables de ces problèmes, sa nature semi soluble (le gypse est un agent de floculation rend les argiles stables et la suspension n'est jamais obtenu), sa faible densité, sa forme et la présence d'eau dans sa molécule sont les problèmes de cette technique (Vieillefon, 1979).

L'élimination du gypse, n'est possible que si la teneur en gypse est inférieure à 10%. Pour une teneur supérieure, la granulométrie établie sur une fraction seulement des constituants réels du sol, ne serait pas représentative des propriétés physiques du sol gypseux (C.I.R.A.D, 2004).

La présence de gypse dans le sol, limite la dispersion des colloïdes. Si le sol contenant moins de 10% de gypse, le sol est lavé à l'eau. Pour les sols contenant plus de 10 % de gypse, une méthode relativement simple consiste à extraire le gypse par un traitement au chlorure de baryum et à la triéthanolamine (Hesse, 1974, modifié par Vieillefon, 1979). Le chlorure de baryum entoure les particules de gypse d'une couche fine de BaSO₄ insoluble. Bien qu'efficace, la méthode ne permet pas toujours une dispersion parfaite par un seul traitement. Il s'avère parfois nécessaire de recommencer le traitement. Cette méthode a donné des résultats satisfaisantes quant elle est utilisée avec des échantillons d'horizon gypseux (Poch, 1992 a).

A cause de l'effet marqué du gypse, sur les propriétés physiques des sols, il est plus souhaitable de déterminer la texture sans enlever la fraction gypseuse (F.A.O, 1990).

En outre, la granulométrie d'un matériel riche de gypse doit considérer les particules de gypse comme un composant actuel du sol, et pas comme un sel qui doit être enlevé, comme il peut être fait par la dissolution quand le taux de gypse est faible (Porta et *al*, 1986 in Poch, 1989).

II.5.2.2. Structure

Dans le sol, le gypse intervient par une action physico-chimique (augmentation de la concentration en électrolytes et le phénomène d'échange), ainsi que par une action physique au niveau des contacts argile-gypse qui intervient sur la structuration globale du matériau par cristallisation et croissance cristalline du gypse (Halitim, 1985).

La plupart des sols gypseux, ont une structure peu favorable. La structure de l'horizon de surface est dominée par une couche massive ou fine. L'horizon peut être fortement cimenté, avec formation de croûtes dures, s'opposant parfois à la circulation de l'eau et au développement des racines (F.A.O, 1990).

La présence de gypse, affecte le développement des éléments structuraux, à cause de la formation des canaux remplis de gypse, désigné gypse vermiforme (Artieda et Herrero, 1996) Boyadgiev (1974) note que quand la quantité du gypse dépasse les 15 %, la structure tente à être instable. Toute fois, il a tendance à augmenter sa stabilité autant que la quantité du gypse dépasse les 25%. Il a conclu que les sols contenant 10 à 35% de gypse sont perméables, ont une pauvre stabilité structurale et une faible capacité de rétention en eau.

II.5.2.3. Circulation de l'eau dans le sol

Le mouvement interne d'eau, dans la plupart des sols gypseux, est normalement modéré à rapide, sauf où le gypse est sous forme des couches incrustées, donc empêchant le mouvement de l'eau vers le bas (F.A.O, 1990).

Dans les Oasis de Gabès en Tunisie, Ammami cité par Van Alphen et Rios Romero (1971) note que la conductivité hydraulique varie entre 200 et 250 cm/jr dans les horizons de surface contenant du gypse alors qu'elle est de 60 à 150 cm/jr dans les horizons souterrains.

Le taux d'infiltration est bon à élevé, il varie entre 0,1- 2,00 m/j, selon la texture et la structure du sol (Florea et Al- Joumaa, 1998). Le gypse peut réduire la conductivité hydraulique quand il est très fin (< 44 µm) et bouche les macropores des sols à texture fine (Keren et al, 1980).

Norton (1997) montre que le gypse améliore l'infiltration et diminue l'érosion. En outre les amendements gypseux contribuent à augmenter la conductivité hydraulique des sols en diminuant les effets du sodium échangeable (Chauhan, 1992).

II.5.2.4. Stabilité structurale

Les résultats des travaux de Poch, (1992 a) sur la stabilité structurale des sols gypseux divisent les échantillons du sol étudiés en deux groupes:

- Horizons hypergypsiques faits de gypse pulvérulent, ont une stabilité élevée; fournie probablement par un fort enchaînement des particules de gypse.

- Horizons hypergypsiques faits de gypse microcristalline, et les échantillons possèdent un taux de gypse inférieur à 50%, ayant une faible stabilité.

Herrero et al (1992) considèrent que la faible stabilité de gypse microcristalline dans l'eau, a été considérée comme un processus de formation de flux de boue, le long de la pente dans les paysages gypseux.

La F.A.O (1990), trouve qu'une faible stabilité est attribuée aux matériels avec l'augmentation du taux de gypse sans spécifier leur type.

II.5.2.5. Résistance à la pénétration

L'étude de la résistance à la pénétration de 20 horizons gypseux, dans sept profils irrigués, qui se caractérise par un taux de gypse qui varient entre 0 et 900 g Kg⁻¹, semble que l'augmentation de la résistance à la pénétration, est due au remplissage des pores préexistants avec les cristaux de gypse, ce qui réduit le volume des vides réguliers et continus nécessaires pour la croissance de racine (Poch et Verplancke, 1997).

L'augmentation de la résistance à la pénétration avec l'augmentation du taux de gypse, est observée dans les horizons qui contiennent <50% de gypse, il est peut être du au remplissage des pores avec le gypse (Poch, 1992 a).

II.5.2.6. Capacité de rétention

La capacité de rétention en eau peut augmenter ou diminuer selon le taux de gypse dans le sol (Boyadgiev, 1974).

D'après Van Alphen et Rios Romero (1971), la capacité de stockage de l'eau disponible dans les couches à accumulations gypseuses pulvérulentes dépend du pourcentage de l'argile et la taille des cristaux de gypse.

Selon Poch (1989) la disponibilité en eau dans les sols gypseux, est en relation avec la texture et la forme d'accumulation de gypse dans le matériau. Les horizons qui possèdent une texture moins grossière ayant une capacité de rétention élevée, par contre les horizons qui possèdent une texture plus grossière ayant une faible capacité de rétention.

Heinze et Fielder (1984) trouvent dans leurs études sur différents profils gypseux a différentes textures et degrés de maturité, que les sols gypseux ont un grand volume de pore, particulièrement les pores de taille moyenne, et une teneur en eau comparable aux sols calcaires ou silicatés de texture et degré de maturité pareil.

L'énergie de rétention de l'eau, dans le cas des sols gypseux, est considérée selon de nombreux travaux, semblables à celle des autres sols. L'eau utilisable par les plantes évoluée dans la gamme des pressions allant de 0,3 à 15 bars (F.A.O, 1990).

Mousli (1980) mentionne que l'humidité disponible dans la Balikh et Maskaneh Bassins en Syrie varie entre 9 et 15%. Elle dépend de la texture et le taux de gypse des sols. Cependant, quant le gypse est sous la forme des cristaux dans la taille de sable grossier à très grossier, l'humidité disponible devient faible et pourrait être inférieur à 5% par volume.

Poch et *al* (1998) déclarent, que les horizons hypergypsiques ayant une texture grossière, possèdent une quantité élevée d'eau retenue à la capacité au champ et une faible quantité au point de flétrissement. La faible quantité d'eau retenue au point de flétrissement est due à la faible quantité d'argile dans ces horizons, à l'exception des horizons superficiels qui enregistrent des quantités élevées d'eau retenue point de flétrissement, malgré leurs textures grossières. Ceci est probablement dû à l'irrégularité de distribution des particules, avec l'abondance des agrégats argileux (isles), ces horizons portent plus d'eau aux potentiels matriciels faibles que les horizons homogènes ayant la même texture.

II.6. Irrigation des sols gypseux

La convenance des sols pour l'irrigation dans les régions arides et semi arides dépend principalement des facteurs suivants : la texture du sol, la structure, la profondeur, le pourcentage de carbonate de calcium actif et total, le taux de gypse, la salinité et la sodicité, le drainage et la pente. L'importance relative de chacun d'entre eux, dépend de tels facteurs comme le climat, le type de gestion du sol et le type des cultures (F.A.O, 1990).

Mardoud (1981) par des expériences sur le terrain en Syrie 1973- 1984, déclare que toutes les cultures d'été examinées, ont besoin d'une dose élevée de l'eau d'irrigation: le coton sur Typic Calcigypsids ou Haplogypsids besoin 18 irrigations (x 70 mm), la betterave à sucre sur Typic Colcigypsids 16 irrigations, et l'oignon sur Typic Haplogypsids 13 irrigations. Cela signifie 30 - 40% plus que d'autres sols dans la même région.

Quand le gypse se dissout, les petits trous et les fissures sont formées dans les couches de gypse qui graduellement s'élargissent jusqu'à la formation des cavités, dans le sous sol et le substratum. Ces cavités croisent largement, quant le gypse se dissout et en conséquence les matériaux de la couche extérieure perdent leur cohésion et leur stabilité, et plus vers le bas pour remplir ces cavités, ayant pour résultat la formation d'une surface irrégulière (fig.8). Par la suite, ceci causes l'effondrement et dégrade les structures hydrauliques (canaux d'irrigation, gâtes, canaux de drainage, etc) (Mashali, 1996).

L'effet de la méthode d'irrigation, sur le mouvement de gypse a été étudié par Al-Kubaisi (1988). Il a observé que le mouvement de gypse par dissolution a été fait sous l'irrigation par inondation, mais pas avec le système d'arroseur, qui peut être attribué à une quantité plus élevée d'eau d'irrigation, appliquée dans une période plus courte en cas de l'irrigation par

inondation. Il a noté aussi, que le taux de germination était plus élevé (90%) avec l'irrigation par système d'arroseur qu'avec l'irrigation par inondation (80%), probablement due à la dureté de la croûte formée dans la couche superficielle sous irrigation par inondation.

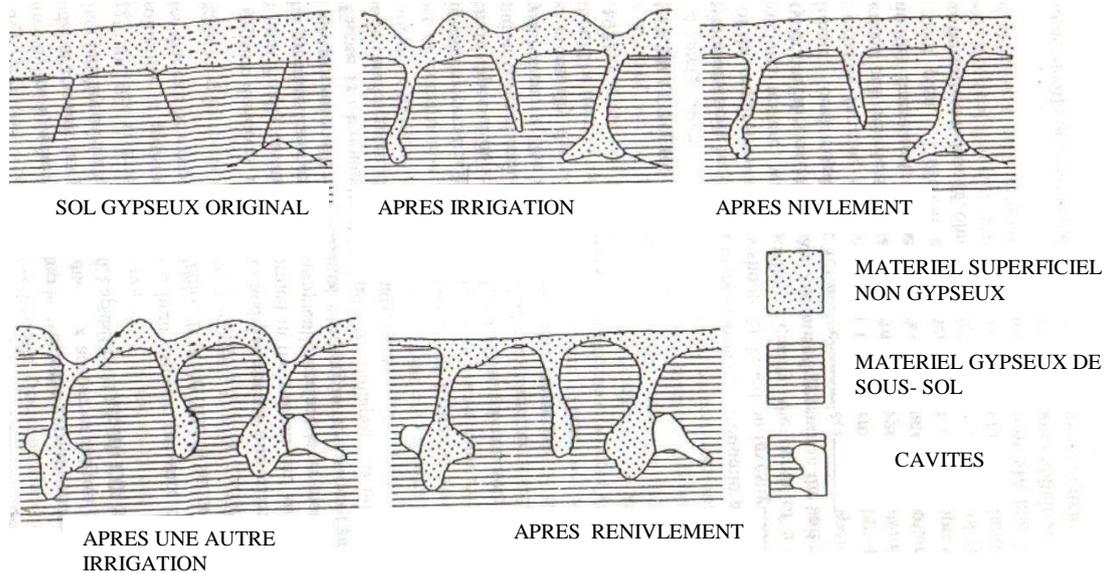


Figure 8: Exposition d'une couche gypseuse de sous-sol et les cavités formées comme conséquence d'une irrigation prolongée des sols gypseux (schématiquement) (Mashali, 1996).

II.7. Fertilité des sols gypseux

Dans les sols gypseux, le gypse affecte les taux d'éléments nutritifs, aussi bien que leurs disponibilités pour les plantes (la fertilité des sols). Son effet dépend de plusieurs facteurs tels que sa nature, la solubilité des éléments, leur forme, leur distribution horizontale et verticale et l'emplacement des couches de gypse dans le profil (Mashali, 1996).

Les sols gypseux en Syrie, ont une basse fertilité, en raison du manque des précipitations et la faible teneur d'humus et en éléments nutritifs. La teneur élevée du gypse affecte la mobilité et la disponibilité de P, K, Mg, Fe, Mo, Zn pour les plantes (Florea et Al-Joumaa, 1998).

Concernant la disponibilité en éléments fertilisants majeurs, Van Alphen et Rios Romero (1971) rapportent que les teneurs en azote des sols gypseux dans les horizons de surface en Espagne sont, généralement, inférieures à 0,25%, dans ceux de la Syrie elles varient entre 0,05 et 0,14%, en ce qui concerne le massif de Kirovabad (URSS) elles oscillent entre 0,07 et 0,26%.

Les données du tableau 8, nous expriment la relation entre le taux de gypse et les seuils des éléments nutritifs majeurs des sols gypseux de la Syrie (Mousli, 1980).

Tableau 8 : Relation entre le taux de gypse et les seuils des éléments nutritifs majeurs (Mousli, 1980).

%Gypse	K échangeable (meq/ 100 g)	P assimilable (ppm)	N total (g/ 100g)
< 25	1-2	500-750	0,05-0,01
25-50	0,5-1	250-500	0,05-0,01
> 50	< 0,5	< 250	< 0,05

Les micro-éléments nutritifs, doivent être appliqués aux sols gypseux, quant ils ont en besoin. Le teste régulier de tel sol est nécessaire, pour connaître les éléments indispensables et leurs taux d'applications. Cependant, la couverture des insuffisances en micronutriments par l'addition de différents fertilisants est limité par certains facteurs tels que: le type de sol, les procédures de gestion de l'eau, les systèmes d'agriculture et reliée aux pratiques agronomiques et environnementales (Mashali, 1996).

Al Rawi et *al* (1983) de leurs études dans les conditions de serre, ont annoncé que le millet a montré une grande réponse aux engrais organiques dans les sols gypseux. Les engrais organiques ont amélioré le taux d'humidité disponible et ont diminué la solubilité de gypse.

Hazzah et *al* (1986) concluent que, les engrais organiques dans les quantités de 12 à 24 t/ha, ont amélioré les propriétés chimiques et physiques des sols gypseux, avec une augmentation significative de la production des cultures (le millet). Ils ont annoncé que l'engrais de volaille avait plus d'effet sur la croissance végétative, tandis que l'engrais de bétail avait plus d'effet sur les propriétés physiques des sols et sur la croissance des racines. Les deux engrais ont donné de meilleurs résultats que les déchets de ville ou l'engrais minéral.

II.8. Effet du gypse sur la végétation

Dans les régions arides et semi-arides, où le gypse se comporte comme un constituant semi - soluble dans le sol et où sa présence au-delà d'un certain seuil, affecte la croissance des plantes et leurs productivités (F.A.O, 1990).

Herrero et *al* (1996) déclarent que, le développement de la végétation gypsophile est relié au développement des sols. Quand le sol est constitué de roches gypseuses peu profondes, la végétation est pauvre, quant il est plus évolué la biomasse et la végétation qui couvre le sol est plus développée. Les communautés typiquement gypsophiles des régions méditerranéennes et subméditerranéennes sont incluses traditionnellement dans les cortèges gypsophiles et *Agropyro-lygeion*.

Dans les sols gypseux à profondeur modérée (horizon pétrogypsiq à une profondeur entre 1et 2m), la plupart des cultures irriguées peuvent grandir normalement. La profondeur des

sols (horizon pétrogypsiqne à une profondeur supérieur à 2m) est appropriée pour plusieurs types de cultures et d'arbres (F.A.O, 1990).

Mardoud (1981) mentionne que, les sols modérément gypseux, avec moins de 10% de gypse dans la couche de 25 à 45cm de profondeur et jusqu'à 35 -50 % de gypse à 60cm de profondeur, sont appropriés pour la profondeur d'enracinement des récoltes. Le blé, orge, trifolium, le coton, betterave sucrière, la pomme de terre, la luzerne, le maïs, sorgho, la tomate et le sésame ont donné des rendements très satisfaisants.

Rao et Tarafdar (1998) ont cité que *Salvadora oleoides*, *Colophospermum mopane* et *Pithecellobium dulce*, ont été identifiées comme plantes affectueuses de calcium. Toutes les espèces testées, peuvent être employées pour la réadaptation des sols à gisement de gypse.

II.9. Effet du gypse sur la dynamique de l'azote

II.9.1. Action du gypse sur l'ammonification

La fixation N_2 a été considérablement augmentée par l'inoculation et l'ajout de chaux et dans une moindre mesure par l'addition du gypse pour Manta (Indrasumunar et al, 2012).

L'application de $CaSO_4$ (specialement avec une dose élevée de 25 tons/ha) tends a inhibé le processus de l'ammonification et de la nitrification dans le sol immédiatement après son application (Rankdv et Vasil., 1967).

II.9.2. Action du gypse sur la nitrification

Dans l'horizon Oa, la minéralisation nette de l'azote a été réduite par des teneurs élevées en Ca et en Ca + P, et la nitrification brute a été augmenté par l'addition de P (Kevan et al., 2011).

L'application simultanée de $CaSO_4$, des engrais organiques et minéraux sur les sols salés augmenté le nombre de bactéries ammonifiantes et nitrifiantes (Rankdv, Vasil., 1967).

II.9.3. Action du gypse sur la minéralisation de l'azote

L'addition du gypse avec 6,7 T/ha réduit le pH du sol de 8,0 à 7,2 et stimulé de manière significative l'ammonification, la nitrification et la minéralisation nette de l'azote (Javid et Fisher, 1990).

D'après Singh et Taneja, (1977), les échantillons du sol amendé par le gypse, ont libérés plus $N-NH_4^+$ et $N-NO_3^-$ que celles non amendées. Les bienfaits du gypse sur la minéralisation de N dans les sols étaient vraisemblablement dus à la stimulation des micro-organismes et / ou la

neutralisation des sels toxiques par la création d'un milieu favorable pour eux. Un taux de gypse rendant la libération maximum du minéral N a été considéré comme optimum.

L'addition du gypse a provoqué une réduction significative à la fois sur le carbone et de l'azote minéralisables, et comme résultante sur le potentiel de minéralisation de l'azote (Carter, 1986).

II.9.4. Action du gypse sur la volatilisation de l'ammoniac

Les pertes par volatilisation d'ammonium des engrais étaient liées à l'augmentation du pH du sol causée par les engrais. En conséquence les pertes maximales ont été enregistrées grâce à l'application d'urée. L'incorporation du gypse réduit de manière significative ces pertes (Zia et al, 2006).

Des études de laboratoire montrent que l'addition de sels solubles de Ca^{2+} réduit la volatilisation (Fenn et Kissel, 1984).

Dans le cas des systèmes d'urée-formaldéhyde et d'urée-sable, le pH a augmenté, le NO_2^- accumulée et une perte considérable d'azote a eu lieu. Le pH, l'accumulation de NO_2^- et la perte d'azote ont tendance à diminuer avec l'augmentation du gypse (Monem Balba et Sheta, 1973).

II.10. Conclusion

Les sols gypseux sont largement répandus dans les régions arides et semi-arides, où les roches mères ou les sédiments gypseux sont fréquents, et la pluviométrie est insuffisante. Ces sols présentent des propriétés physico-chimiques médiocres, quand le taux de gypse est élevé. Ceci peut influencer sur le déséquilibre de la nutrition minérale des plantes et comme conséquence sur les rendements des cultures.

Chapitre II: Les sols gypseux

II.1.Introduction

Les « sols gypseux » sont mentionnés en tant que tels dans la plupart des classifications, à différents niveaux et avec une assez grande diversité de termes et de définitions. Les « sols gypseux » (au sens large) sont largement répandus et apparaissent typiques des régions arides et semi-arides (précipitations annuelles < 300-400 mm): Tunisie, Algérie, Syrie, Irak, sud de l'ex-URSS et de l'Espagne, Texas, Mexique, sud de l'Australie, Namibie, etc (Baize et Girard, 2008).

Van Alphen et Rios Romero (1971), désigné sous le nom sol gypseux, les sols à teneur supérieur à 2% de gypse, alors que la légende révisée de la carte du sol du monde (F.A.O, 1988) définit "sol gypseux" quand il contient 5 % ou plus du gypse.

II.2. Répartition spatiale des sols gypseux dans le monde

Les sols gypseux sont largement répandus dans les zones arides et semi-arides, leur surface totale est estimée de 707,000 Km² (Boyadgiev, 1985). Ils sont localisés dans les régions des déserts, avec une moyenne des précipitations annuelles inférieure à 250mm (Watson, 1983, 1985) (Fig.2).

Ils se rencontrent au Nord de l'Afrique, le Sud – Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphen et Rios Romero, 1971), l'Argentine, le Chili, et l'Australie (F.A.O, 1990) (Fig .3).

La distribution des sols gypseux au Nord et à l'Est de l'Afrique, l'Europe du sud et le Sud-Ouest de l'Asie a été cartographiée à petite échelle par Van Alphen et Rios Romero (1991) in Porta, (1998) et dans le monde par Eswaran et Zi-Tong (1991).

En Algérie, les sols gypseux occupent approximativement 8000Km², qui représentant 12,2% des sols gypseux du monde (F.A.O, 1990) (Tab.4).

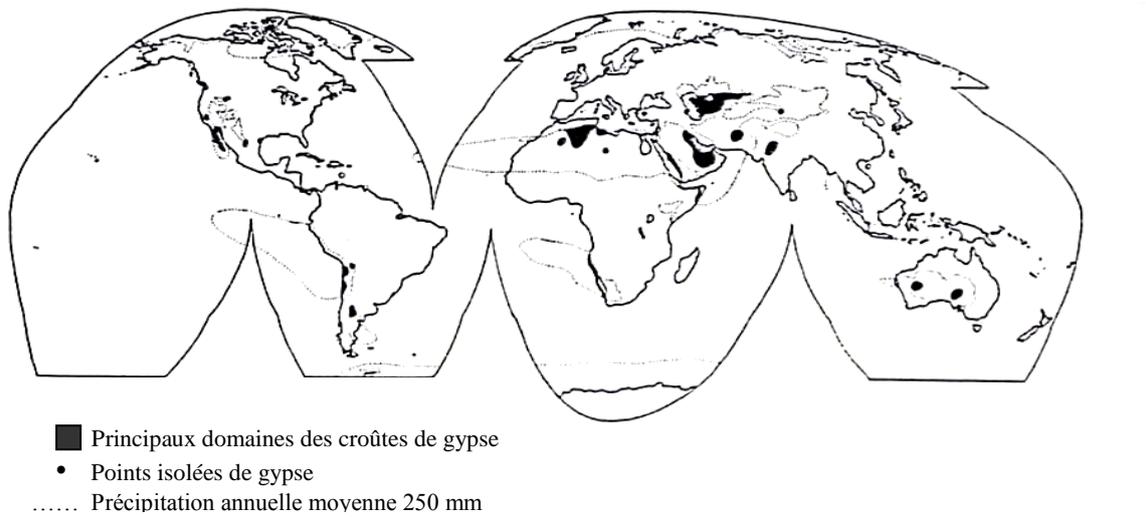


Figure 2: Distribution générale des surfaces d'accumulation de gypse (exception des roches déposées) (Watson, 1985).

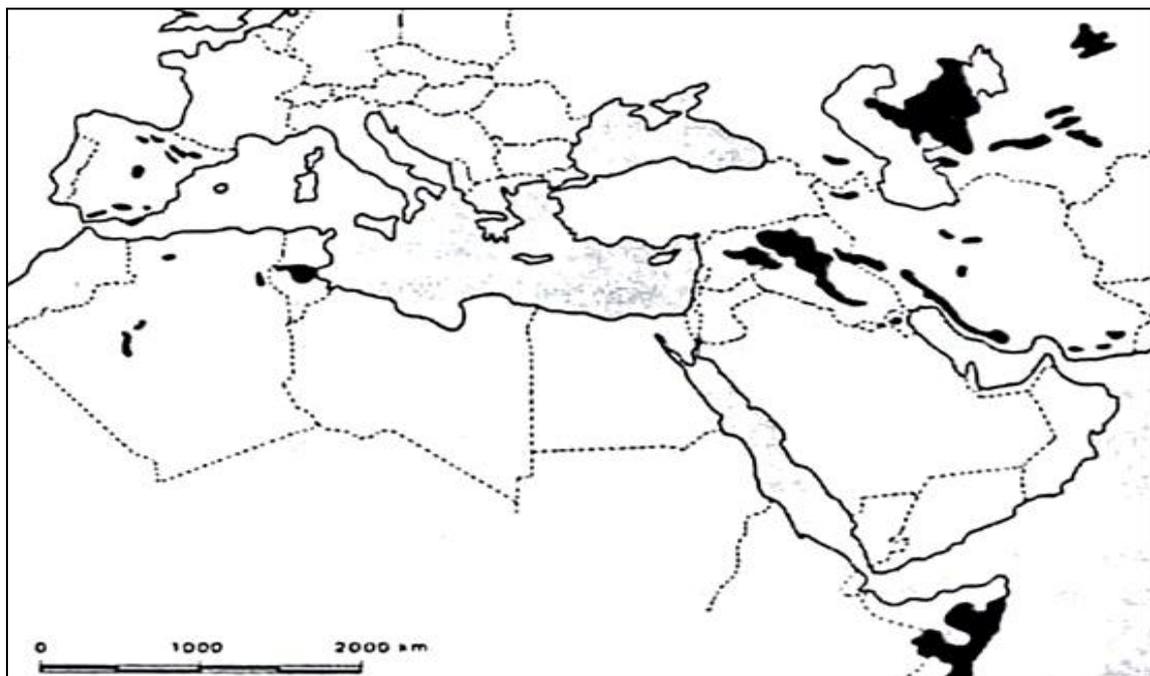


Figure 3: Distribution des sols gypseux dans le Nord et l'Est de l'Afrique, le Sud – Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphen et Rios Romero, 1971).

Tableau 4: Distribution des sols gypseux par pays (F.A.O, 1990).

Continent	Pays	Km ²	% du total du pays	% de la surface des sols gypseux du monde
Afrique	Maroc	1114,3	2,5	1,7
	Algérie	7966,3	3,3	12,2
	Tunisie	1439,8	9,3	2,2
	Libye	3956,8	2,2	6,0
	Egypte	382,2	0,4	0,6
	Soudan	78,0	0,3	1,2
	Somalie	10161,2	16,2	15,5
	Ethiopie	1423,4	1,3	2,2
	Mali	2818,3	2,3	4,3
	Mauritanie	396,0	0,4	0,6
	Namibie	5327,7	6,5	8,2
Asie du sud	Syrie	3966,6	21,6	6,0
	Jordanie	80,5	0,8	0,1
	Arabie saoudite	82,5	0,04	0,1
	Oman	471,6	-	0,7
	Yémen A.R.	2931,0	8,8	4,5
	Kuwait	354,6	-	0,5
	Iraq	4779,2	11,0	7,3
	Iran	4,2	-	-
	Pakistan	9,4	0,01	-
	Inde	182,0	0,06	0,3
Centre de l'Asie	USSR	5074,1	0,2	7,7
	Mongolie	60,9	0,04	0,1
	Chine	11484,9	1,2	17,5
Europe	Turquie	64,2	0,08	0,1
	Espagne	165,5	0,3	0,3
Nord de l'Amérique	Nouveau-Mexique	78,0	-	0,1

II.3. Origines du gypse

Les hypothèses et les théories expliquant les origines et les processus de l'accumulation du gypse dans le sol, ont fait l'objet de nombreux travaux (Bellair, 1954 ; Trichet, 1963 ; Dekkiche, 1974 ; Kulke, 1974 ; Watson, 1980 ; Halitim, 1988 ; Artieda et Herrero, 1996). Il ressort que les principaux facteurs qui régissent la présence du gypse dans le sol sont: la présence d'une source de gypse, la topographie et l'aridité du milieu (Bellanca et Neri, 1993). Donc ils sont liés aux caractéristiques spécifiques de chaque région d'étude.

Les roches gypseuses dans le bassin de l'Ebro en Espagne ont été produits dans un environnement endoréique continental, d'un complexe de playa-lake, par les sulfates dissous provenant de trois sources: les Pyrénées, la cordillère ibérienne, et les montagnes des

Catalanides (Artieda et Herrero, 1996). L'abondance et la profondeur de ces gisements de sulfate supposent une source importante.

Selon Mandado 1987 in Artieda et Herrero (1996) les mécanismes de formation les plus probables sont trois: (1) l'oxydation des sulfures contenus dans les roches dans les zones de source, et leurs transports; (2) l'entrée des eaux de mer dans le bassin; et (3) la dissolution des roches contenant des sulfates dans les zones de source, par exemple les faciès de Keuper (Artieda et Herrero, 1996).

Van Alphen et Rios Romerio (1971) ont mentionné que les dépôts de gypse solides ou intercalés présents dans la vallée de l'Ebro en Espagne, viennent des périodes de transition du Miocène Supérieur et Oligocène-Eocène. Les autres gisements de gypse trouvés dans la vallée de Tajo, le sud-ouest de Madrid appartiennent probablement au Miocène inférieur.

L'origine du gypse est peut être évaporitique; c'est le produit des eaux souterraines saturées. Le gypse, précipité dans les pores, peut être incorporé à la matrice du sol par l'activité faunique. Des cycles successifs, de ce processus mèneraient à la formation des horizons hypergypsiques (Barzanji et Stoops, 1974 in Poch, 1992 b).

Herrero et al (1996) dans l'étude de la dépression centrale de Catalogne trouvent que les sols gypseux sont situés aux pieds des pentes d'un anticlinal, sur les matériaux colluviaux. Donc l'origine du gypse peut être en partie colluviale, quoique quelques fractions puissent être transportées par dissolution par l'écoulement souterrain le long des pentes.

Les sols gypseux et solonchaks gypsiques de la plaine inondable (Milieu Europhrates) de Syrie sont décrits et caractérisés par Florea et Al-joumaa (1998). Ces sols, développés sur des dépôts alluviaux et des glacis se composent des sédiments gypseux déposés par l'eau et transportés des secteurs voisins les plus hauts.

Le gypse peut avoir au moins trois origines éventuelles:

II.3.1. Origine géologique

Le gypse peut être contenu dans le substrat géologique (sédiment et roches). Ce substrat peut alimenter soit le sol qu'il supporte, soit les alluvions qui en dérivent, soit les sols des zones basses (Kadri, 1987).

II.3.2. Origine hydraulique

L'eau, quelle soit souterraine ou superficielle, contenant l'ion calcium et l'ion sulfate dissous, peut donner naissance à un dépôt gypseux par l'effet de l'évaporation et de la concentration (Pouget, 1968).

L'eau d'écoulement de montagne est la première source de gypse pour le sol (Toomanian et al, 2001).

II.3.3. Origine éolienne

La contribution du vent à la formation des accumulations gypseuses à été étudiée par plusieurs chercheurs (Coque, 1962; Trichet, 1963; Pouget, 1968). Les croûtes résultant d'un saupoudrage intermittent de poussières surtout salines, diffusées dans l'atmosphère par le vent. La cimentation de ces dernières serait le résultat de l'infiltration des eaux pluviales dans les recouvrements éoliens.

II.4. Formes du gypse dans le sol

Dans le sol, le gypse se présente sous différentes formes, en fonction des conditions dans lesquelles il précipite. Les différents travaux (Pouget, 1968 ; Dekkiche, 1974 ; Stoops et Ilawi, 1981 ; Nettleton et al, 1982 ; Abrukova et Isayeh, 1983 ; Watson, 1985, 1988 et 1989 ; Pankhanova et Yamnova, 1987 ; Halitim, 1988 ; Boyadgiev et Sayegh, 1992 ; Herrero et al, 1996 ; Bensaid, 1999) révèlent que le gypse dans le sol peut être sous des formes pulvérulentes, en pseudomyceliums, en amas, en nodules, en roses de sables, en encroûtements, en croûtes massives ou en croûtes polygonales.

Le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) est formé d'une solution aqueuse, ou de l'hydratation de l'anhydride. Il se cristallise sous forme d'un prisme monoclinique et occupe finalement la forme granulaire (alabastre), comme un agrégat fibreux (gypse salin, sélénite) ou se rassemble comme une rose (rose de désert) (Boyadgiev et Sayegh, 1992).

Les cristaux du gypse peuvent être automorphes; limités par des faces nettes, apparaissant comme des jumeaux. Ils peuvent être xénomorphes, avec des limites irrégulières. La morphologie xénomorphe peut naître par une interférence mutuelle durant le développement du cristal (cristaux grenus) ou par dissolution partielle.

Les cristaux automorphes, se présentent sous de nombreuses formes (Jafarzadeh et Burnham, 1992) :

- Cristaux plats avec un bon développement de la surface basale. Ils peuvent être rhomboédriques ou hexagonaux (tabulaire).
- Cristaux allongés en forme de lentilles (lenticulaires).
- Cristaux solides et surtout définis par des faces complètement parallèles ce sont les cristaux prismatiques.
- Cristaux très minces à faces solides, pointus comme une aiguille ce sont les cristaux aciculaires.
- Cristaux très minces souvent incurvés ou ondulés ce sont les cristaux fibreux.
- Cristaux occasionnellement trouvés, minces, tubulaires, lesquels peuvent être tordus (worm tube), ou se présentent disloqués et ouverts à la fin (flower tube).

Bureau et Roederer (1960) ont décrit les accumulations gypseuses, en Tunisie comme suit:

- Amas (Spots) : Poches localisées de cristaux lenticulaires.
- Pulvérulent (Powdery) : Poches de gypse, granuleux blanc et fin; morphologie du cristal non claire.
- Encroûtement (Crusty) : Couche qui n'est pas dure, ni massive; équivalent aux horizons gypsiques et hypergypsiques.
- Croûte (Crust): Couche de gypse dure et massive; équivalent aux horizons pétrogypsiques.
- Polygonal : Une croûte exposée à la surface montrant un modèle polygonal.

En tenant compte de leur mode de formation, les formes de gypses observées par Herrero et *al* (1996), en Espagne dans le champ de quatre dépôts alluviaux sont:

- Gypse vermiforme, nodule et couche.
- Cristallisations dures.
- Gypse pulvérulent (horizons de gypse lenticulaire).
- Horizons microcristallines (horizons de gypse se rassemblent aux roses).
- Couches couchés de gypse.
- Autre cristaux de traits pédologiques.

Cinq formes de gypse de néoformations, caractéristiques de l'horizon possédant une concentration élevé en gypse on été identifiées par Verba (1996). Ces formes sont strictement limitées à certains types des sols qui se différencient dans les conditions de leurs pédogenèses (tableau 5)

Tableau 5: Formes de gypse de néoformations et leurs caractéristiques (Verba, 1996).

Formes de gypse de néoformations	Unité de sol	Conditions de formation du sol	Caractéristique de la microstructure
1. Pulvérulent	Petric Gypsisols	Altérations fréquentes de l'humidification et le séchage des sols en surface	Grande diversité des formes des cristaux de gypse
1.1. « Marneux »	Petric Gypsisols	Relativement plus humide	Abondance des calcaires pseudomorphes de différent degré de manifestation, jusqu'à la formation de cristaux négatifs
1.2. « Crummy »	Petric Gypsisols	Relativement moins humide	Prédominance uniforme de cristaux de gypse rombohedral, apparition des blocs séparés et la dispersion des carbonates
2. Incrusté	Luvic Calcisols (sierozems)	Zone de bord capillaire	Accumulations instables dans les pores des cristaux désordonnés et souvent corrodés de gypse
3. Concrétionné	Luvic Calcisols (sierozems)	Carbonatation des concrétions de gypse dans les conditions paleohydromorphiques	Concrétions abondantes de carbonate-gypseux « hedgehog » de structure complexe
4. Columnaire (« beaded »)	Calcic Gypsisols	Précipitation du gypse dans la partie basse des fragments grossiers des solutions migratrices vers le bas	Cristaux prismatiques qui s'assemble sous forme de queues d'hirondelle
5. Lenticulaire	Haplic Gypsisols	Zone de contact avec les eaux souterraines	Cristaux de forme lenticulaire qui se consolidé

II.5. Caractéristiques des sols gypseux

La présence du gypse dans le sol affecte la plupart de leurs propriétés, causant des problèmes sévères d'ordre physiques, chimiques et des problèmes de fertilités (Mashali, 1996).

Cependant, quant les particules de gypse sont présentes dans la couche superficielle, leur type, leur quantité, et leur degré de cristallisation à un impact profond sur les propriétés physiques et physico-chimiques du sol et sur la croissance des plantes (F.A.O, 1990).

II.5.1. Propriétés chimiques des sols gypseux

II.5.1.1. Formes hydratées et déshydratées du sulfate de calcium

Le gypse est un sel soluble (sulfate de calcium hydraté). Sa solubilité est de 2,6 g/l dans l'eau pure à 25°C et à une pression de 1 atmosphère (Herrero et Porta, 1990). Il constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol (Eswaran et *al*, 1981).

Weiser et *al* 1936 in Jauzein (1974) suggèrent que la déshydratation de gypse soit accélérée à 60°C sous une pression de vapeur d'eau de 23,6mm; c'est-à-dire la tension de vapeur saturée à 25°C (figue. 4), laissant 0,01 mol d'H₂O pour chaque mol de CaSO₄ à 200°C. Cette anhydrite réversible a une capacité d'hydratation assez forte en fonction de la température de déshydratation au cours du temps.

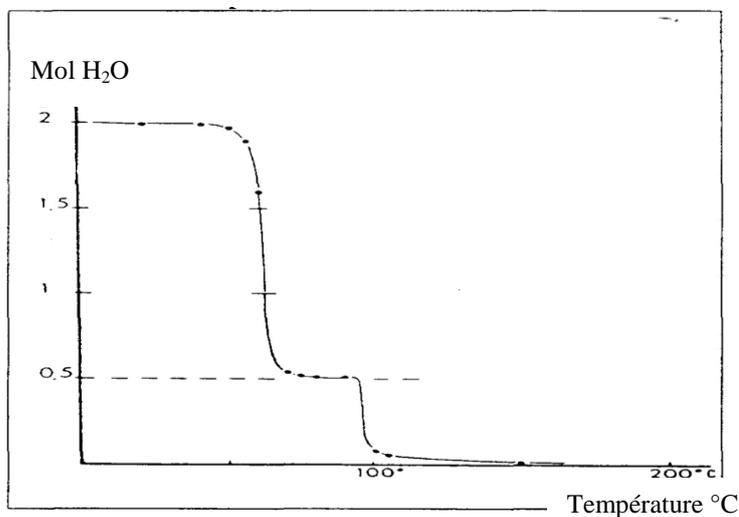


Figure 4 : Déshydratation du gypse à température croissante (Weisser et *al* 1936, in Jauzein, 1974)

Les principales formes des états du CaSO₄ sont les suivantes (Vieillefon, 1979):

- **Phase hydratée** : gypse, monoclinique
- **Phase semi-hydratée** : hemihydrate
 - * naturel : bassanite
 - * artificiel :
 - Variété α : préparé en solution ou en autoclave
Donc en présence d'un excès d'eau sous forme liquide ou vapeur.
 - Variété β : préparé en absence d'eau.
- **Phase anhydre** : anhydrite
 - * naturel: orthorhombique

* artificiel :

- Anhydrite « réversible » ou anhydrite III obtenu par chauffage au-dessous de 200°C et non réhydratable.
- Anhydrite « irréversible » ou anhydrite II obtenue au dessus de 2000°C et non réhydratable.
- Plâtre surcuit ou γ - Ca SO_4 , obtenu au dessus de 1000°C.

II.5.1.2. Relations de solubilité

II.5.1.2.1. Solubilité du gypse dans l'eau pure en fonction de la température

Jauzein (1974), basé sur d'autres recherches, donne un graphe de la solubilité du gypse, bassanite et anhydrite, en fonction de la température (fig.5).

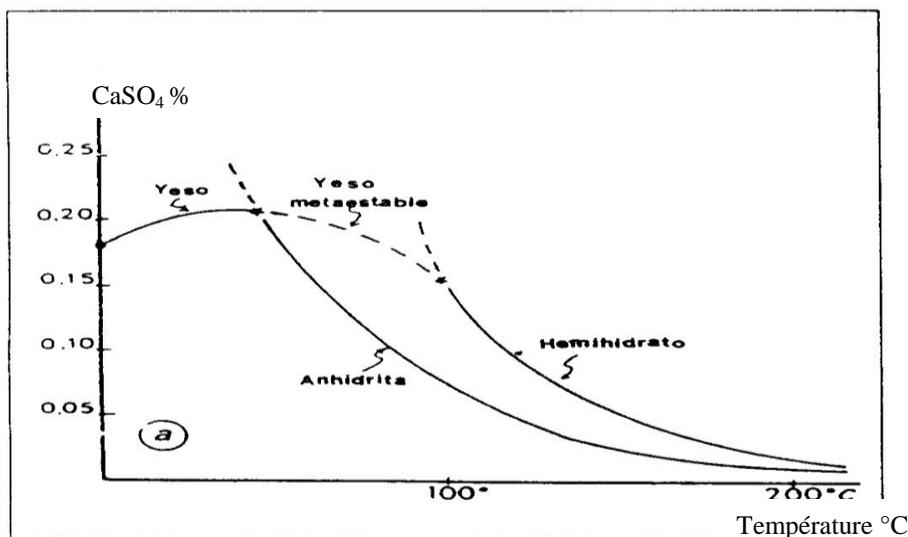


Figure 5: Différentes phases de la solubilité du $\text{CaSO}_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ dans l'eau pure en fonction de la température (Weisser et al 1936, in Jauzien, 1974)

II.5.1.2.2. Solubilité du gypse en présence des sels solubles

Le gypse est un électrolyte faible, sa solubilité est modifiée lorsque la solution contient des électrolytes forts ayant ou non des ions communs avec lui (Pouget, 1968 ; Sonnenfeld, 1984).

La solubilité du gypse dans une solution aqueuse salée contenant Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , et SO_4^{2-} a été examinée expérimentalement en employant des voies différentes pour calculer les

coefficients d'activités d'ion monovalents et différents ions bivalents. Une approche d'analyse de sensibilité peut être employée pour déterminer qui est la meilleure équation d'adaptation pour représenter le coefficient d'activité d'ion simple et quels ions pairs sont nécessaires pour être inclus (Arslan et Dutt, 1993).

La présence de NaCl dans la solution peut augmenter considérablement la solubilité du gypse (Schreiber et Schreiber, 1977).

Kovda (1965) indique que la solubilité du gypse augmente avec la présence des chlorures, particulièrement les chlorures de sodium et de magnésium. Les tableaux 6 et 7 expliquent la relation entre le gypse et les sels solubles.

Tableau 6: Solubilité du gypse en présence du chlorure de magnésium MgCl₂ (Pouget, 1968).

Concentration en g/l dans la solution		
MgCl ₂	CaSO ₄	H ₂ O
0,00	02,08	997,9
08,50	04,26	996,5
19,18	05,69	994,5
46,64	07,59	989,1
121,38	08,62	992,2
206,98	06,57	949,9
337,00	02,77	908,7
441,10	01,39	978,6

Tableau 7 : Influence de la concentration de chlorure de sodium (NaCl) sur la solubilité du gypse (Anselme et Cameron in Durand, 1953).

Concentration en g/l								
NaCl		0,0	02,925	14,62	58,50	131,6	206,7	292,6
CaSO ₄	14°C	01,10	02,79	03,68	05,72	07,20	06,30	05,30
	20°C	02,10	03,15	04,00	06,00	07,30	06,30	05,30

II.5.1.2.3. Action du pH sur la solubilité du gypse

Le pH influe aussi sur la solubilité du gypse, en raison de l'attachement des ions H⁺ sur les anions SO₄⁻. La solubilité est élevée à pH bas (Artieda et Herrero, 1996). Mais ce phénomène ne peut guère intervenir car dans tous les sols gypseux étudiés le pH est toujours supérieur à 7 (Pouget, 1968).

II.5.1.2.4. Effet de la pression du gaz carbonique (CO₂) sur la solubilité du gypse

La pression de CO₂ affecte aussi la solubilité de gypse quand les carbonates sont présents, due à l'augmentation des ions dans la solution (l'effet d'ion commun) et la réduction consécutive de la solubilité (Artieda et Herrero, 1996).

II.5.1.2.5. Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité

La solubilité du gypse est également en relation étroite avec la taille de ces particules. Elle croît avec la finesse de celle-ci (fig. 6):

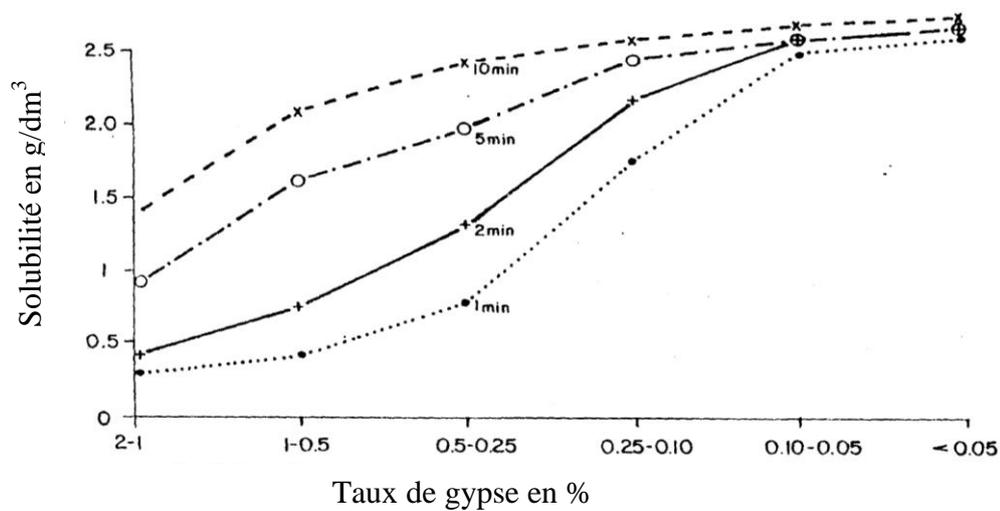


Figure 6: Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité dans l'eau (F.A.O, 1990).

II.5.1.3. Interaction gypse – calcaire

Plusieurs travaux (Boyadgiev, 1974 ; F.A.O, 1990 ; Florea et Al-Joumaa, 1998) ont montré que l'augmentation du taux de gypse entraîne la diminution de la teneur en calcaire et vis versa.

Florea et Al-Joumaa (1998) présenté la relation suivante :

$$\text{CaCO}_3 = 23,12 - 0,174 \text{ gypse} \quad \text{ou} \quad \text{gypse} = 75,04 - 2,117 \text{ CaCO}_3$$

Pour l'horizon C, le coefficient de corrélation $R^2 = 0,368$

L'étude microscopique en zone aride de l'Algérie faite par Halitim et Robert (1987) montre qu'un envahissement de l'accumulation calcaire par le gypse avec une désintégration et une

dilution au niveau du calcaire. Ils pensent que ce phénomène est dû à la pression de cristallisation du gypse qui est de l'ordre de 1,100 Kg/Cm² qui détruit les individualisations calcaires par suite de l'arrivée continue des solutions sulfato- calciques, et leurs précipitations à ce niveau.

II.5.1.4. Relation entre le gypse et la capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique des sols dépend, généralement de la teneur en matière organique, de la texture du sol et le type des minéraux argileux. La plupart des sols gypseux sont pauvres en matière organique et en conséquence la contribution des colloïdes organiques à l'élévation de la capacité de rétention est faible (F.A.O, 1990).

Poch (1992 a) trouve dans son étude dans la vallée de l'Ebro en Espagne, que les valeurs de la CEC sont faibles, variant entre 1,04 et 21,5 meq/100g. Dans les horizons hypergypsiques, la CEC est plus faible (1 à 8 meq/100g) que dans le reste des échantillons, à l'exception des échantillons qui contiennent des taux élevés en matière organique. La fig 7 représente la variation des valeurs de la CEC avec la variation du taux de gypse. Elle a remarqué qu'avec un faible taux de gypse la CEC est fortement variable, en outre l'augmentation du taux de gypse dans le sol provoque la diminution des valeurs de la CEC.

Quand les échantillons avec moins de 5% du gypse sont exclus, une nouvelle corrélation existe entre le taux de gypse et la CEC ont été représenté par l'équation linéaire suivante:

$$\text{CEC meq/100g} = 16,49 - 0,16 (\% \text{ gypse})$$

Avec le coefficient de corrélation $R^2 = 0,708$.

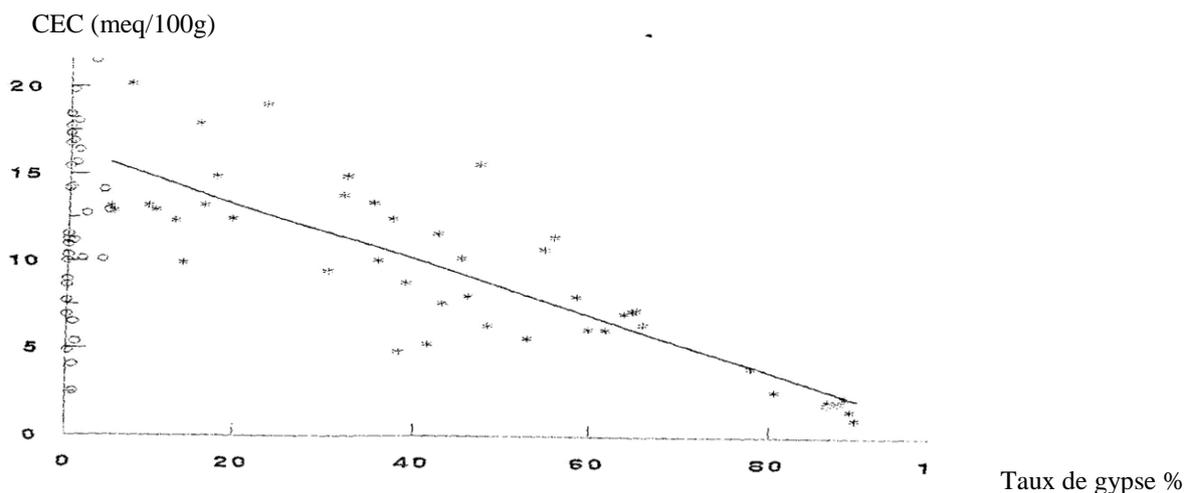


Figure 7: Relation entre la capacité d'échange cationique et le taux de gypse (Poch, 1992 a).

II.5.2. Propriétés physiques des sols gypseux

II.5.2.1. Texture

La texture des sols gypseux, dépend largement de la nature du matériau parental dans lequel le sol s'est développé (Van Alpen et Rios Romero, 1971). Cependant, elle est fortement influencée par la présence des teneurs élevées des cristaux de gypse.

Poch (1992 a), dans une étude sur les sols gypseux de l'Espagne, indique que la texture est étroitement liée à la teneur en gypse; à des faibles teneurs, la texture est déterminée par le matériau parental. Cependant, l'augmentation des teneurs en gypse engendre, d'une part, la formation d'une texture à dominance de limons et de sables en raison d'une cristallisation grossière, d'autre part, elle induit une diminution des teneurs en argile.

La détermination de la texture des sols gypseux avec la méthode standard de la pipette de Robinson peut poser différents problèmes (S.C.S, 1972 in Poch, 1992 b).

Les caractéristiques du gypse sont responsables de ces problèmes, sa nature semi soluble (le gypse est un agent de floculation rend les argiles stables et la suspension n'est jamais obtenu), sa faible densité, sa forme et la présence d'eau dans sa molécule sont les problèmes de cette technique (Vieillefon, 1979).

L'élimination du gypse, n'est possible que si la teneur en gypse est inférieure à 10%. Pour une teneur supérieure, la granulométrie établie sur une fraction seulement des constituants réels du sol, ne serait pas représentative des propriétés physiques du sol gypseux (C.I.R.A.D, 2004).

La présence de gypse dans le sol, limite la dispersion des colloïdes. Si le sol contenant moins de 10% de gypse, le sol est lavé à l'eau. Pour les sols contenant plus de 10 % de gypse, une méthode relativement simple consiste à extraire le gypse par un traitement au chlorure de baryum et à la triéthanolamine (Hesse, 1974, modifié par Vieillefon, 1979). Le chlorure de baryum entoure les particules de gypse d'une couche fine de $BaSO_4$ insoluble. Bien qu'efficace, la méthode ne permet pas toujours une dispersion parfaite par un seul traitement. Il s'avère parfois nécessaire de recommencer le traitement. Cette méthode a donné des résultats satisfaisantes quant elle est utilisée avec des échantillons d'horizon gypseux (Poch, 1992 a).

A cause de l'effet marqué du gypse, sur les propriétés physiques des sols, il est plus souhaitable de déterminer la texture sans enlever la fraction gypseuse (F.A.O, 1990).

En outre, la granulométrie d'un matériel riche de gypse doit considérer les particules de gypse comme un composant actuel du sol, et pas comme un sel qui doit être enlevé, comme il peut être fait par la dissolution quand le taux de gypse est faible (Porta et *al*, 1986 in Poch, 1989).

II.5.2.2. Structure

Dans le sol, le gypse intervient par une action physico-chimique (augmentation de la concentration en électrolytes et le phénomène d'échange), ainsi que par une action physique au niveau des contacts argile-gypse qui intervient sur la structuration globale du matériau par cristallisation et croissance cristalline du gypse (Halitim, 1985).

La plupart des sols gypseux, ont une structure peu favorable. La structure de l'horizon de surface est dominée par une couche massive ou fine. L'horizon peut être fortement cimenté, avec formation de croûtes dures, s'opposant parfois à la circulation de l'eau et au développement des racines (F.A.O, 1990).

La présence de gypse, affecte le développement des éléments structuraux, à cause de la formation des canaux remplis de gypse, désigné gypse vermiforme (Artieda et Herrero, 1996) Boyadgiev (1974) note que quand la quantité du gypse dépasse les 15 %, la structure tente à être instable. Toute fois, il a tendance à augmenter sa stabilité autant que la quantité du gypse dépasse les 25%. Il a conclu que les sols contenant 10 à 35% de gypse sont perméables, ont une pauvre stabilité structurale et une faible capacité de rétention en eau.

II.5.2.3. Circulation de l'eau dans le sol

Le mouvement interne d'eau, dans la plupart des sols gypseux, est normalement modéré à rapide, sauf où le gypse est sous forme des couches incrustées, donc empêchant le mouvement de l'eau vers le bas (F.A.O, 1990).

Dans les Oasis de Gabès en Tunisie, Ammami cité par Van Alphen et Rios Romero (1971) note que la conductivité hydraulique varie entre 200 et 250 cm/jr dans les horizons de surface contenant du gypse alors qu'elle est de 60 à 150 cm/jr dans les horizons souterrains.

Le taux d'infiltration est bon à élevé, il varie entre 0,1- 2,00 m/j, selon la texture et la structure du sol (Florea et Al- Joumaa, 1998). Le gypse peut réduire la conductivité hydraulique quand il est très fin (< 44 µm) et bouche les macropores des sols à texture fine (Keren et al, 1980).

Norton (1997) montre que le gypse améliore l'infiltration et diminue l'érosion. En outre les amendements gypseux contribuent à augmenter la conductivité hydraulique des sols en diminuant les effets du sodium échangeable (Chauhuan, 1992).

II.5.2.4. Stabilité structurale

Les résultats des travaux de Poch, (1992 a) sur la stabilité structurale des sols gypseux divisent les échantillons du sol étudiés en deux groupes:

- Horizons hypergypsiques faits de gypse pulvérulent, ont une stabilité élevée; fournie probablement par un fort enchaînement des particules de gypse.

- Horizons hypergypsiques faits de gypse microcristalline, et les échantillons possèdent un taux de gypse inférieur à 50%, ayant une faible stabilité.

Herrero et al (1992) considèrent que la faible stabilité de gypse microcristalline dans l'eau, a été considérée comme un processus de formation de flux de boue, le long de la pente dans les paysages gypseux.

La F.A.O (1990), trouve qu'une faible stabilité est attribuée aux matériels avec l'augmentation du taux de gypse sans spécifier leur type.

II.5.2.5. Résistance à la pénétration

L'étude de la résistance à la pénétration de 20 horizons gypseux, dans sept profils irrigués, qui se caractérise par un taux de gypse qui varient entre 0 et 900 g Kg⁻¹, semble que l'augmentation de la résistance à la pénétration, est due au remplissage des pores préexistants avec les cristaux de gypse, ce qui réduit le volume des vides réguliers et continus nécessaires pour la croissance de racine (Poch et Verplancke, 1997).

L'augmentation de la résistance à la pénétration avec l'augmentation du taux de gypse, est observée dans les horizons qui contiennent <50% de gypse, il est peut être du au remplissage des pores avec le gypse (Poch, 1992 a).

II.5.2.6. Capacité de rétention

La capacité de rétention en eau peut augmenter ou diminuer selon le taux de gypse dans le sol (Boyadgiev, 1974).

D'après Van Alphen et Rios Romero (1971), la capacité de stockage de l'eau disponible dans les couches à accumulations gypseuses pulvérulentes dépend du pourcentage de l'argile et la taille des cristaux de gypse.

Selon Poch (1989) la disponibilité en eau dans les sols gypseux, est en relation avec la texture et la forme d'accumulation de gypse dans le matériau. Les horizons qui possèdent une texture moins grossière ayant une capacité de rétention élevée, par contre les horizons qui possèdent une texture plus grossière ayant une faible capacité de rétention.

Heinze et Fielder (1984) trouvent dans leurs études sur différents profils gypseux a différentes textures et degrés de maturité, que les sols gypseux ont un grand volume de pore, particulièrement les pores de taille moyenne, et une teneur en eau comparable aux sols calcaires ou silicatés de texture et degré de maturité pareil.

L'énergie de rétention de l'eau, dans le cas des sols gypseux, est considérée selon de nombreux travaux, semblables à celle des autres sols. L'eau utilisable par les plantes évoluée dans la gamme des pressions allant de 0,3 à 15 bars (F.A.O, 1990).

Mousli (1980) mentionne que l'humidité disponible dans la Balikh et Maskaneh Bassins en Syrie varie entre 9 et 15%. Elle dépend de la texture et le taux de gypse des sols. Cependant, quant le gypse est sous la forme des cristaux dans la taille de sable grossier à très grossier, l'humidité disponible devient faible et pourrait être inférieur à 5% par volume.

Poch et *al* (1998) déclarent, que les horizons hypergypsiques ayant une texture grossière, possèdent une quantité élevée d'eau retenue à la capacité au champ et une faible quantité au point de flétrissement. La faible quantité d'eau retenue au point de flétrissement est due à la faible quantité d'argile dans ces horizons, à l'exception des horizons superficiels qui enregistrent des quantités élevées d'eau retenue point de flétrissement, malgré leurs textures grossières. Ceci est probablement dû à l'irrégularité de distribution des particules, avec l'abondance des agrégats argileux (isles), ces horizons portent plus d'eau aux potentiels matriciels faibles que les horizons homogènes ayant la même texture.

II.6. Irrigation des sols gypseux

La convenance des sols pour l'irrigation dans les régions arides et semi arides dépend principalement des facteurs suivants : la texture du sol, la structure, la profondeur, le pourcentage de carbonate de calcium actif et total, le taux de gypse, la salinité et la sodicité, le drainage et la pente. L'importance relative de chacun d'entre eux, dépend de tels facteurs comme le climat, le type de gestion du sol et le type des cultures (F.A.O, 1990).

Mardoud (1981) par des expériences sur le terrain en Syrie 1973- 1984, déclare que toutes les cultures d'été examinées, ont besoin d'une dose élevée de l'eau d'irrigation: le coton sur Typic Calcigypsids ou Haplogypsids besoin 18 irrigations (x 70 mm), la betterave à sucre sur Typic Colcigypsids 16 irrigations, et l'oignon sur Typic Haplogypsids 13 irrigations. Cela signifie 30 - 40% plus que d'autres sols dans la même région.

Quand le gypse se dissout, les petits trous et les fissures sont formées dans les couches de gypse qui graduellement s'élargissent jusqu'à la formation des cavités, dans le sous sol et le substratum. Ces cavités croisent largement, quant le gypse se dissout et en conséquence les matériaux de la couche extérieure perdent leur cohésion et leur stabilité, et plus vers le bas pour remplir ces cavités, ayant pour résultat la formation d'une surface irrégulière (fig.8). Par la suite, ceci causes l'effondrement et dégrade les structures hydrauliques (canaux d'irrigation, gâtes, canaux de drainage, etc) (Mashali, 1996).

L'effet de la méthode d'irrigation, sur le mouvement de gypse a été étudié par Al-Kubaisi (1988). Il a observé que le mouvement de gypse par dissolution a été fait sous l'irrigation par inondation, mais pas avec le système d'arroseur, qui peut être attribué à une quantité plus élevée d'eau d'irrigation, appliquée dans une période plus courte en cas de l'irrigation par

inondation. Il a noté aussi, que le taux de germination était plus élevé (90%) avec l'irrigation par système d'arroseur qu'avec l'irrigation par inondation (80%), probablement due à la dureté de la croûte formée dans la couche superficielle sous irrigation par inondation.

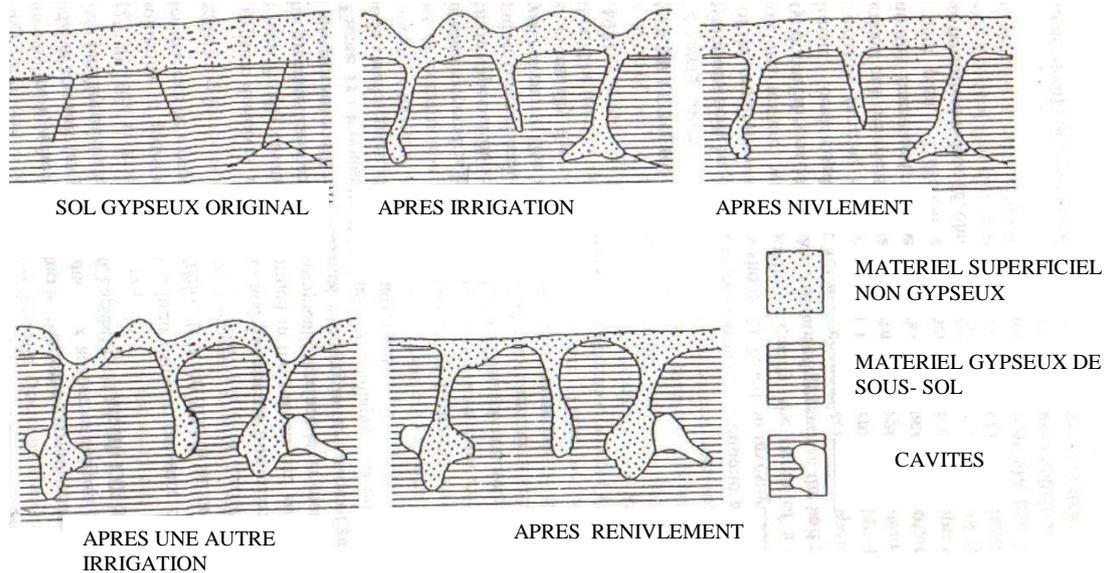


Figure 8: Exposition d'une couche gypseuse de sous-sol et les cavités formées comme conséquence d'une irrigation prolongée des sols gypseux (schématiquement) (Mashali, 1996).

II.7. Fertilité des sols gypseux

Dans les sols gypseux, le gypse affecte les taux d'éléments nutritifs, aussi bien que leurs disponibilités pour les plantes (la fertilité des sols). Son effet dépend de plusieurs facteurs tels que sa nature, la solubilité des éléments, leur forme, leur distribution horizontale et verticale et l'emplacement des couches de gypse dans le profil (Mashali, 1996).

Les sols gypseux en Syrie, ont une basse fertilité, en raison du manque des précipitations et la faible teneur d'humus et en éléments nutritifs. La teneur élevée du gypse affecte la mobilité et la disponibilité de P, K, Mg, Fe, Mo, Zn pour les plantes (Florea et Al-Joumaa, 1998).

Concernant la disponibilité en éléments fertilisants majeurs, Van Alphen et Rios Romero (1971) rapportent que les teneurs en azote des sols gypseux dans les horizons de surface en Espagne sont, généralement, inférieures à 0,25%, dans ceux de la Syrie elles varient entre 0,05 et 0,14%, en ce qui concerne le massif de Kirovabad (URSS) elles oscillent entre 0,07 et 0,26%.

Les données du tableau 8, nous expriment la relation entre le taux de gypse et les seuils des éléments nutritifs majeurs des sols gypseux de la Syrie (Mousli, 1980).

Tableau 8 : Relation entre le taux de gypse et les seuils des éléments nutritifs majeurs (Mousli, 1980).

%Gypse	K échangeable (meq/ 100 g)	P assimilable (ppm)	N total (g/ 100g)
< 25	1-2	500-750	0,05-0,01
25-50	0,5-1	250-500	0,05-0,01
> 50	< 0,5	< 250	< 0,05

Les micro-éléments nutritifs, doivent être appliqués aux sols gypseux, quant ils ont en besoin. Le teste régulier de tel sol est nécessaire, pour connaître les éléments indispensables et leurs taux d'applications. Cependant, la couverture des insuffisances en micronutriments par l'addition de différents fertilisants est limité par certains facteurs tels que: le type de sol, les procédures de gestion de l'eau, les systèmes d'agriculture et reliée aux pratiques agronomiques et environnementales (Mashali, 1996).

Al Rawi et *al* (1983) de leurs études dans les conditions de serre, ont annoncé que le millet a montré une grande réponse aux engrais organiques dans les sols gypseux. Les engrais organiques ont amélioré le taux d'humidité disponible et ont diminué la solubilité de gypse.

Hazzah et *al* (1986) concluent que, les engrais organiques dans les quantités de 12 à 24 t/ha, ont amélioré les propriétés chimiques et physiques des sols gypseux, avec une augmentation significative de la production des cultures (le millet). Ils ont annoncé que l'engrais de volaille avait plus d'effet sur la croissance végétative, tandis que l'engrais de bétail avait plus d'effet sur les propriétés physiques des sols et sur la croissance des racines. Les deux engrais ont donné de meilleurs résultats que les déchets de ville ou l'engrais minéral.

II.8. Effet du gypse sur la végétation

Dans les régions arides et semi-arides, où le gypse se comporte comme un constituant semi - soluble dans le sol et où sa présence au-delà d'un certain seuil, affecte la croissance des plantes et leurs productivités (F.A.O, 1990).

Herrero et *al* (1996) déclarent que, le développement de la végétation gypsophile est relié au développement des sols. Quand le sol est constitué de roches gypseuses peu profondes, la végétation est pauvre, quant il est plus évolué la biomasse et la végétation qui couvre le sol est plus développée. Les communautés typiquement gypsophiles des régions méditerranéennes et subméditerranéennes sont incluses traditionnellement dans les cortèges gypsophiles et *Agropyro-lygeion*.

Dans les sols gypseux à profondeur modérée (horizon pétrogypsiq à une profondeur entre 1et 2m), la plupart des cultures irriguées peuvent grandir normalement. La profondeur des

sols (horizon pétrogypsiqne à une profondeur supérieur à 2m) est appropriée pour plusieurs types de cultures et d'arbres (F.A.O, 1990).

Mardoud (1981) mentionne que, les sols modérément gypseux, avec moins de 10% de gypse dans la couche de 25 à 45cm de profondeur et jusqu'à 35 -50 % de gypse à 60cm de profondeur, sont appropriés pour la profondeur d'enracinement des récoltes. Le blé, orge, trifolium, le coton, betterave sucrière, la pomme de terre, la luzerne, le maïs, sorgho, la tomate et le sésame ont donné des rendements très satisfaisants.

Rao et Tarafdar (1998) ont cité que *Salvadora oleoides*, *Colophospermum mopane* et *Pithecellobium dulce*, ont été identifiées comme plantes affectueuses de calcium. Toutes les espèces testées, peuvent être employées pour la réadaptation des sols à gisement de gypse.

II.9. Effet du gypse sur la dynamique de l'azote

II.9.1. Action du gypse sur l'ammonification

La fixation N_2 a été considérablement augmentée par l'inoculation et l'ajout de chaux et dans une moindre mesure par l'addition du gypse pour Manta (Indrasumunar et al, 2012).

L'application de $CaSO_4$ (specialement avec une dose élevée de 25 tons/ha) tends a inhibé le processus de l'ammonification et de la nitrification dans le sol immédiatement après son application (Rankdv et Vasil., 1967).

II.9.2. Action du gypse sur la nitrification

Dans l'horizon Oa, la minéralisation nette de l'azote a été réduite par des teneurs élevées en Ca et en $Ca + P$, et la nitrification brute a été augmenté par l'addition de P (Kevan et al., 2011).

L'application simultanée de $CaSO_4$, des engrais organiques et minéraux sur les sols salés augmenté le nombre de bactéries ammonifiantes et nitrifiantes (Rankdv, Vasil., 1967).

II.9.3. Action du gypse sur la minéralisation de l'azote

L'addition du gypse avec 6,7 T/ha réduit le pH du sol de 8,0 à 7,2 et stimulé de manière significative l'ammonification, la nitrification et la minéralisation nette de l'azote (Javid et Fisher, 1990).

D'après Singh et Taneja, (1977), les échantillons du sol amendé par le gypse, ont libérés plus $N-NH_4^+$ et $N-NO_3^-$ que celles non amendées. Les bienfaits du gypse sur la minéralisation de N dans les sols étaient vraisemblablement dus à la stimulation des micro-organismes et / ou la

neutralisation des sels toxiques par la création d'un milieu favorable pour eux. Un taux de gypse rendant la libération maximum du minéral N a été considéré comme optimum.

L'addition du gypse a provoqué une réduction significative à la fois sur le carbone et de l'azote minéralisables, et comme résultante sur le potentiel de minéralisation de l'azote (Carter, 1986).

II.9.4. Action du gypse sur la volatilisation de l'ammoniac

Les pertes par volatilisation d'ammonium des engrais étaient liées à l'augmentation du pH du sol causée par les engrais. En conséquence les pertes maximales ont été enregistrées grâce à l'application d'urée. L'incorporation du gypse réduit de manière significative ces pertes (Zia et al, 2006).

Des études de laboratoire montrent que l'addition de sels solubles de Ca^{2+} réduit la volatilisation (Fenn et Kissel, 1984).

Dans le cas des systèmes d'urée-formaldéhyde et d'urée-sable, le pH a augmenté, le NO_2^- accumulée et une perte considérable d'azote a eu lieu. Le pH, l'accumulation de NO_2^- et la perte d'azote ont tendance à diminuer avec l'augmentation du gypse (Monem Balba et Sheta, 1973).

II.10. Conclusion

Les sols gypseux sont largement répandus dans les régions arides et semi-arides, où les roches mères ou les sédiments gypseux sont fréquents, et la pluviométrie est insuffisante. Ces sols présentent des propriétés physico-chimiques médiocres, quand le taux de gypse est élevé. Ceci peut influencer sur le déséquilibre de la nutrition minérale des plantes et comme conséquence sur les rendements des cultures.

Chapitre III

Matériels et méthodes d'étude

Chapitre III: Matériels et méthodes d'étude

III.1.Introduction

L'azote est l'élément nutritif le plus déficient dans les systèmes de production agricole. La plupart des systèmes de cultures non légumineuses exigent l'apport d'azote, particulièrement les variétés modernes à haut rendement.

La nutrition azotée des plantes ne dépend pas uniquement de la fertilisation minérale. D'autres sources d'azote minéral (NO_3^- et NH_4^+) proviennent de la dégradation des différentes matières organiques (MO) du sol : MO endogène (humifiée), résidus de récolte, résidus de cultures, produits organiques exogènes....

L'objectif de ce travail, est d'étudier l'influence du taux de gypse sur le dynamique de l'azote des amendements organiques ; un fumier de volailles et un fumier ovin, et sa cinétique d'absorption par une graminée fourragère le ray grass d'italie. L'expérimentation a été effectuée au département d'agronomie, université de Biskra.

Ce chapitre traite les matériels et les méthodes utilisés dans cette étude ; le site d'échantillonnage du sol, les doses du gypse, les types et les doses des fumiers, le matériel végétal et le protocole expérimental utilisé dans ce travail. Ainsi que les analyses effectuées pour caractériser le sol, le gypse, le fumier et le végétal.

III.2.Matériels d'étude

III.2.1. Sol

Le sol utilisé dans ce travail est apporté de la région de Bazoul, située à 15 Km Est du chef lieu de la wilaya de Jijel sur les coordonnées géographiques $36^\circ 48' 64. N$ $5^\circ 45' 44 E$ 932 m au dessus de la mer (fig.9).



Figure 09 : Situation de la zone d'échantillonnage du sol (google earth, 2014).

Le prélèvement a été effectué le 20 décembre 2009, sur une épaisseur de 0 -35 cm. Le sol prélevé a été séché à l'air libre, broyé puis tamisé à 2 mm. Il est caractérisé par une texture limono-sableux, un pH neutre avec 6,71 et une conductivité électrique de 0,2 dS/m ; il est non salé. Ce sol ne contient pas le calcaire et le gypse. Le taux de la matière organique est très faible ; il est de 0,33% (tableau 09).

Tableau 09 : Caractéristiques physico-chimiques du sol étudié.

pH (1/2,5)	6,71	
CE dS/m à 25°C (1/5)	0,20	
Calcaire total %	0	
Gypse %	0	
Granulométrie	Argile %	10,13
	Limon fin %	29,90
	Limon grossier %	7,45
	Sable fin %	7,40
	Sable grossier %	45,12
	Classe texturale	Limono-sableux
Caractéristiques biologiques	C%	0,19
	N%	0,021
	NH ⁺ ₄ en ppm	45,30
	NO ⁻ ₃ en ppm	62,25
	C/N	9,04
	MO%	0,33
	P total en ppm	117
Bases échangeables	Ca ⁺⁺ meq/100g	12,62
	Mg ⁺⁺ meq/100g	4,65
	Na ⁺ meq/100g	1,03
	K ⁺ meq/100g	0,87
CEC meq/100g	18,34	

III.2.2.Gypse

Le minerai de gypse a été apporté sous sa forme brute de l'usine de plâtre d'Ouled Djalal, située à 80 Km Est du chef lieu de la wilaya de Biskra. Il a été ensuite broyé à l'aide d'un

broyeur jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Parce que la solubilité du gypse croit avec la finesse de ses particules (FAO, 1990). Ces caractéristiques sont montrées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Propriétés du minerai de gypse.

Gypse %	73,43
Calcaire %	3,07
pH (1/5)	7,32
CE (1/5) dS/m à 25°C	2,32

Les doses de gypse utilisées sont choisies en se basant d'une part à l'étude faite par Boyadgiev (1975) en Algérie, qui relie le coefficient de productivité des cultures avec le taux du gypse (tableau 11).

Tableau 11 : Indices de productivité des sols gypseux (Boyadgiev (1975)).

Gypse%	Coefficient
>50	0,3
20-50	0,6
15-25	0,8
5-15	0,9
<5	1,0

Et d'autre part sur l'étude de Rasouli et al (2013), où ils ont utilisé les doses 50, 75 et 100% de gypse, ainsi que le travail fait par Shahi et al (1978), où ils ont testé les taux 0, 20, 40, 60, 80 et 100% de gypse. Dans notre cas, nous avons utilisé les doses suivantes 0, 5, 10, 20, 40 et 60%

III.2.3 Amendements organiques

Deux amendements organiques ont été utilisés dans cette étude; un fumier ovin et un fumier de volaille issue d'une exploitation d'élevage de poules pondeuses.

Le choix des amendements organiques a été effectué pour les raisons suivantes:

- Représentant une réserve importante d'éléments chimiques surtout l'azote.
- Leurs longues biodégradabilités, ce qui limite les pertes d'azote par les eaux d'irrigation et par les pluies.
- La disponibilité des amendements organiques dans la région de Biskra et leurs prix raisonnés par rapport aux engrais chimiques.

- La fabrication et le transport d'engrais azotés pour l'agriculture est un processus extrêmement coûteux à la fois du point de vue énergétique et financier.

Les caractéristiques chimiques de ces amendements sont regroupées dans le tableau 12.

Tableau 12: Caractéristiques des amendements organiques.

	Fumier ovin	Fumier de volailles
pH (1/10)	6,73	7,63
CE (1/10)	2,17	3,20
MO%	65,20	52,22
C%	37,91	30,36
N%	1,80	2,23
C/N	21,06	13,61

Les doses choisies pour cette étude sont: 0%, 2,5% et 5% de matière organique des amendements organiques (un fumier ovin et un fumier de volaille).

III.2.4. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est le ray grass d'Italie (*Lolium multiflorum*). C'est une plante herbacée annuelle de la famille des poacées, couramment cultivée comme plante fourragère. Elle est choisie pour cette étude parce qu'elle répond très bien à la fertilisation et repousse rapidement après des coupes successives (Lemaire, 1977).

III.2.5. Pots de végétation

Les pots utilisés sont des pots plastiques ayant une capacité de 1 Kg, mesurant 13 cm de hauteur, avec un diamètre de 15 cm à l'ouverture et 10 cm à la base.

III.3. Méthodes d'étude

III.3.1. Description du dispositif

L'essai a été réalisé dans des pots en plastiques de 1 Kg. Dans chaque pot, il a été introduit 700 g de mélange (sol, gypse, fumier).

Six doses de gypse ont été testées ($G_0=0\%$; $G_5=5\%$; $G_{10}=10\%$; $G_{20}=20\%$; $G_{40}=40\%$; $G_{60}=60\%$) et trois doses de matière organique des deux types de fumier; un fumier ovin ($D_0= 0\%$ MO ; $D_1= 2,5\%$ MO ; $D_2= 5\%$ MO) et un fumier de volaille ($V_0= 0\%$ MO ; $V_1= 2,5\%$ MO ; $V_2= 5\%$ MO).

L'essai a été conduit en conditions semi-contrôlées. Les plantes sont exposées aux conditions climatiques normales mais protégées de la pluie. L'humidité est conservée proche de celle de la capacité de rétention.

Le dispositif expérimental utilisé est le split-plot avec 36 traitements à raison de trois répétitions (annexe 04). Le facteur principal est la dose du gypse et les facteurs secondaires sont le type et la dose du fumier (Tableau 13).

Tableau 13: Dispositif expérimental

B1		B2		B3	
G ₂₀ V ₀	G ₂₀ D ₀	G ₅ D ₁	G ₅ V ₁	G ₄₀ V ₂	G ₄₀ D ₂
G ₁₀ V ₀	G ₁₀ D ₀	G ₀ D ₁	G ₀ V ₁	G ₂₀ V ₂	G ₂₀ D ₂
G ₅ V ₀	G ₅ D ₀	G ₁₀ D ₁	G ₁₀ V ₁	G ₀ V ₂	G ₀ D ₂
G ₀ V ₀	G ₀ D ₀	G ₆₀ D ₁	G ₆₀ V ₁	G ₅ V ₂	G ₅ D ₂
G ₄₀ V ₀	G ₄₀ D ₀	G ₂₀ D ₁	G ₂₀ V ₁	G ₆₀ V ₂	G ₆₀ D ₂
G ₆₀ V ₀	G ₆₀ D ₀	G ₄₀ D ₁	G ₄₀ V ₁	G ₁₀ V ₂	G ₁₀ D ₂
G ₂₀ V ₂	G ₂₀ D ₂	G ₅ D ₀	G ₅ V ₀	G ₄₀ V ₁	G ₄₀ D ₁
G ₁₀ V ₂	G ₁₀ D ₂	G ₀ D ₀	G ₀ V ₀	G ₂₀ V ₁	G ₂₀ D ₁
G ₅ V ₂	G ₅ D ₂	G ₁₀ D ₀	G ₁₀ V ₀	G ₀ V ₁	G ₀ D ₁
G ₀ V ₂	G ₀ D ₂	G ₆₀ D ₀	G ₆₀ V ₀	G ₅ V ₁	G ₅ D ₁
G ₄₀ V ₂	G ₄₀ D ₂	G ₂₀ D ₀	G ₂₀ V ₀	G ₆₀ V ₁	G ₆₀ D ₁
G ₆₀ V ₂	G ₆₀ D ₂	G ₄₀ D ₀	G ₄₀ V ₀	G ₁₀ V ₁	G ₁₀ D ₁
G ₂₀ V ₁	G ₂₀ D ₁	G ₅ D ₂	G ₅ V ₂	G ₄₀ V ₀	G ₄₀ D ₀
G ₁₀ V ₁	G ₁₀ D ₁	G ₀ D ₂	G ₀ V ₂	G ₂₀ V ₀	G ₂₀ D ₀
G ₅ V ₁	G ₅ D ₁	G ₁₀ D ₂	G ₁₀ V ₂	G ₀ V ₀	G ₀ D ₀
G ₀ V ₁	G ₀ D ₁	G ₆₀ D ₂	G ₆₀ V ₂	G ₅ V ₀	G ₅ D ₀
G ₄₀ V ₁	G ₄₀ D ₁	G ₂₀ D ₂	G ₂₀ V ₂	G ₆₀ V ₀	G ₆₀ D ₀
G ₆₀ V ₁	G ₆₀ D ₁	G ₄₀ D ₂	G ₄₀ V ₂	G ₁₀ V ₀	G ₁₀ D ₀

III.3.2.Semis

La variété utilisée dans l'expérience est la variété suxy du ray grass d'Italie (*Lolium multiflorum*). Elle présente une faculté germinative élevée (80%). La densité de semis utilisée est de 12Kg/ha, ce qui correspond à 3mg/pot. Au stade de trois feuilles, les plants ont été élagués afin de conserver le même nombre de plant dans chaque pot.

Le semis a été réalisé le 08 septembre 2013. Les graines ont été réparties d'une façon homogène sur la surface du pot, puis enfouies à une profondeur de 2 cm (Minette, 2011).

III.3.3.Irrigation

La détermination des besoins en eau a été calculée par pesée. Des pots supplémentaires ont été humectés par des quantités suffisantes d'eau, puis laisser ressuyer pendant 24 à 48 heures. La différence entre le poids des pots après ressuyage et avant irrigation détermine la quantité d'eau nécessaire pour ramener le sol à sa capacité de rétention.

L'eau d'irrigation est caractérisée par une CE de 1.1 dS/m, un pH 7.78 et une teneur en NO₃⁻ de 0.45 meq/l.

III.3.4. Fertilisation

Deux types d'engrais ont été utilisés pour la fertilisation de la culture ; le phosphore sous forme triple superphosphate TPS à raison de 90 U/ha, et le potassium sous forme de sulfate de potassium à raison de 100 U/ha à la mise en place (FERTIAL, 2010, Mansat et *al*, SD). Les engrais ont été finement broyés pour améliorer leur solubilité et leur homogénéité avec le sol.

III.3.5. Durée de l'essai

L'expérience a été faite durant cinq mois ; des le 08/09/2013 jusqu'à le 08/02/2014. Les différentes formes de l'azote minéral dans le sol (ammoniacal et nitrique) sont dosées les 30, 60, 90, 120 et 150 jours de l'expérience.

III.3.6. Analyses du sol

III.3.6.1. Réaction du sol (pH): Déterminé par le pH mètre avec un rapport sol/ eau de 1/2,5.

III.3.6.2. Conductivité électrique (CE) : Déterminée par le conductimètre, avec un rapport sol/eau de 1/5 est exprimé en dS/m à 25 °C.

III.3.6.3 Calcaire total : Par la méthode de calcimètre de Bernard.

III.3.6.4. Granulométrie : L'analyse granulométrique, a été effectuée par la méthode internationale de la pipette de Robinson.

III.3.6.5. Carbone organique : Le dosage du carbone organique a été réalisé par la méthode Walkley et Black, qui nécessite une oxydation avec le bichromate de potassium.

III.3.6.6. Base échangeable: Na⁺ et K⁺ par le photomètre à flamme et le Ca²⁺ et Mg²⁺ par complexométrie.

III.3.6.7. Dosage du gypse (CaSO₄ 2H₂O)

Le dosage du gypse a été effectuée d'après la méthode de Richard (1954) ; par l'utilisation de l'acétone avec un rapport sol/ eau de 1/500.

Le taux du gypse a été calculé par l'utilisation de la courbe standard qui relie la concentration de sulfate de calcium avec la conductivité électrique (CE), à 25 °C (tableau.13).

Tableau 14 : Conductivité électrique à 25 °C de différentes concentrations de sulfate de calcium dans l'eau (Poch, 1989 ; Rayan, et al, 2001).

CaSO ₄ (meq/l)	Conductivité électrique à 25°C (dS/m)
1,0	0,121
2,0	0,226
5,0	0,500
10,0	0,900
20,0	1,584
30,5	2,205

L'expression utilisée pour calculer le taux de gypse dans l'échantillon est la suivante :

$$\text{Gypse dans le sol } \% = \frac{A_{\text{meqCaSO}_4}}{1000\text{ml}} \times \frac{B_{\text{ml}}}{C_{\text{ml}}} \times \frac{1}{D_{\text{g/ml}}} \times \frac{0,086\text{g}}{1\text{meqgypse}} \times 100$$

Où : A : meq CaSO₄ du tableau.

B : volume de H₂O pour apporter tout le précipité dans la solution

C : volume de l'aliquote.

D : rapport sol/ eau

III.3.6.8. Dosage de l'azote total

Le dosage de l'azote total a été réalisé par la méthode Kjeldhal in Aubert (1967); cette méthode consiste à une destruction de la matière organique à chaud par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur par entraînement à la vapeur et piégeage par l'acide borique (40%) et titrage par l'acide sulfurique (0,05N).

III.3.6.9. Dosage de l'azote ammoniacal et nitrique

Le dosage a été fait par la méthode Drouineau et Gouny in Bouneau et Souchier (1979). Les formes ammoniacales et nitriques sont extraites par une solution de chlorure de potassium KCl 1N. L'azote ammoniacal a été piégé dans de l'acide borique (2%) en présence d'un indicateur coloré mixte (réactif de Tashiro), et dosé par une solution d'H₂SO₄ (0,05N). Cependant, l'azote nitrique a été dosé en ajoutant à la solution précédente 2g d'alliage de Devarda qui à la propriété de réduire l'azote nitrique en azote ammoniacal, puis une deuxième distillation a été réalisée dans les mêmes conditions que précédemment.

III.3.7. Analyses végétales

La mesure du poids de la partie aérienne et l'analyse de l'azote total ont été faite après chaque coupe (30, 60, 90, 120 et 150 jours de l'expérience). La matière végétale a été séchée à l'étuve à 70°C pendant 24 heures, puis pesée afin de déterminer le poids sec puis broyée pour déterminer le pourcentage de l'azote total par la méthode Kjeldhal. A la fin de l'expérience la partie racinaire a été rincée avec l'eau distillée, séché à l'étuve à 70°C pendant 24 heures, puis pesée afin de déterminer le poids sec de la partie racinaire.

III.3.8. Analyse statistique

L'analyse statistique a été faite à l'aide du logiciel XL Stat qui permet d'effectuer l'analyse de la variance (ANOVA) pour les différents traitements. Les tests de comparaison des moyennes ont été effectués selon la méthode de Newman-Keuls. Les niveaux de signification des traitements ont été déterminés à un niveau de probabilité de 0,05.

III.4. Conclusion

Le sol utilisé dans cette étude provient de la région de Bazoul wilaya de Djijel, trois doses des deux types de fumier ; un fumier volaille et un fumier ovin et six doses de gypse (0, 5, 10, 20, 40, 60%) ont été testées. L'expérience a été étendue sur cinq mois ; dès le début de septembre 2013 jusqu'à le début de février 2014 sur une plante teste, le ray grass d'Italie. Plusieurs analyses sont effectuées sur le sol, le fumier et le gypse dans le but de caractériser ces derniers. Aussi l'analyse de l'azote minéral (NH_4^+ , NO_3^-) dans le sol et l'azote total dans la partie aérienne du ray grass d'Italie ont été effectuées chaque mois pour suivre la dynamique de l'azote organique dans le sol ainsi que la cinétique d'absorption de l'azote minéral par la plante.

Chapitre IV

Résultats et discussion

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV .1. Introduction

Ce chapitre traite l'effet du taux de gypse sur l'évolution de l'azote minéral dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier. En outre, il traite aussi leur effet sur le poids de la matière sèche aérienne, racinaire et totale et sur la vitesse de croissance du ray grass dans les mêmes conditions, ainsi que sur la cinétique d'absorption de l'azote minéral par le ray grass.

IV.2. Effet du gypse sur la minéralisation de l'azote organique dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier

IV.2.1. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier

IV.2.1.1. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en absence de fumier

L'examen de la figure 10, qui représente l'évolution de la quantité de l'azote nitrique sous l'effet des doses croissantes de gypse en absence de fumier, révèle que la meilleure quantité d'azote nitrique est enregistrée avec la faible dose en gypse (5%). Et la faible quantité de N-NO_3^- est enregistrée avec la dose la plus élevée en gypse (60%). En plus nous remarquons que l'augmentation de la dose de gypse au-delà de 5% provoque une diminution de la quantité de N-NO_3^- pour tous les prélèvements. Donc, on peut dire que la nitrification est inversement proportionnelle au taux de gypse ($r = -0,95$). La quantité de N-NO_3^- libérée lors de l'expérience varie entre 8,52 et 78,32 ppm.

L'étude faite par Badia (2000), au laboratoire pour évaluer le potentiel de la nitrification de six sols agricoles en zone semi-aride, à la vallée de l'Ebre centrale (nord-est de l'Espagne), montre que le sol très gypsifère possède un potentiel de nitrification faible ($8,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de N-NO_3^-) et un plus faible teneur en N-NO_3^- dans les échantillons de terrain ($7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ en moyenne annuelle). Ce fait démontre certaine inhibition de la nitrification qui peut être attribuée à un déséquilibre dans les propriétés du sol très gypsifère.

En outre, nous remarquons une diminution de la quantité de N-NO_3^- d'un prélèvement à l'autre. Ceci est peut être expliqué par l'absorption de la plante « ray grass » de l'azote nitrique pour sa croissance.

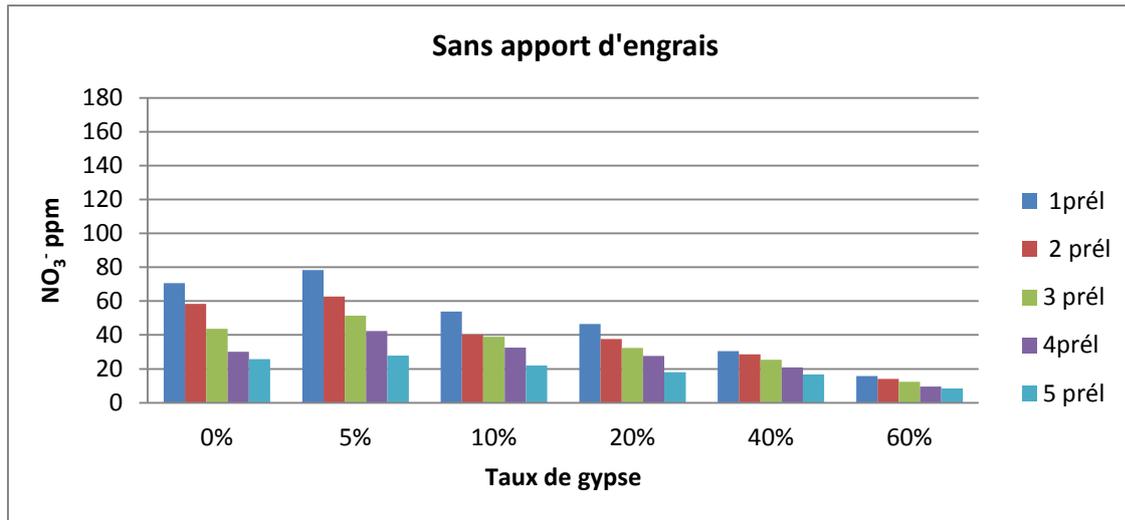


Figure 10: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en absence de fumier.

IV.2.1.2. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en présence de fumier ovin

L'observation des figures 11, 12, 13, 14 et 15 indiquent que la quantité la plus élevée en azote nitrique est enregistrée avec la dose 5% en gypse pour tous les prélèvements. Cette quantité diminue avec l'augmentation du taux de gypse au-delà de 5%. Les valeurs d'azote nitrique enregistrées varient entre 11,46 et 91,11 ppm, durant toute l'expérience. Le coefficient de corrélation entre le taux du gypse et la quantité d'azote nitrique libéré est de ($r = -0,93$) ; ils sont corrélés négativement.

En ce qui concerne l'effet de la dose de fumier ovin sur la nitrification ; la dose D₂ libère la quantité la plus élevée en azote nitrique par rapport aux autres doses, durant toute l'expérience et avec toutes les doses de gypse. La dose D₁ vient en deuxième position par rapport au témoin. Donc, l'augmentation de la dose de fumier engendre une augmentation de la nitrification. Le coefficient de corrélation entre ces derniers est de ($r = 0,99$).

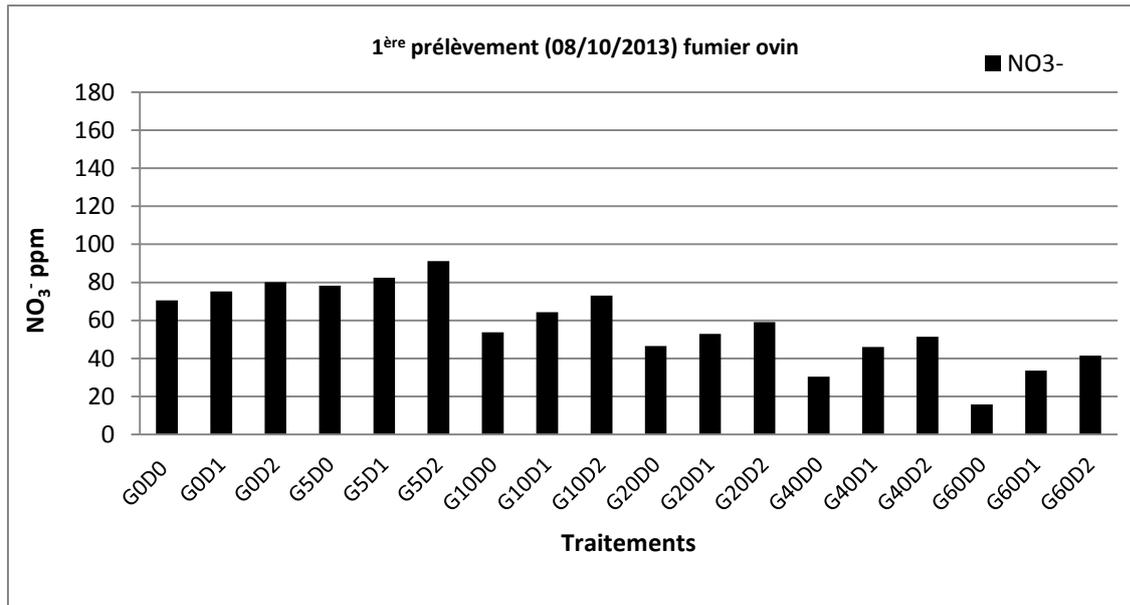


Figure 11: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du premier prélèvement.

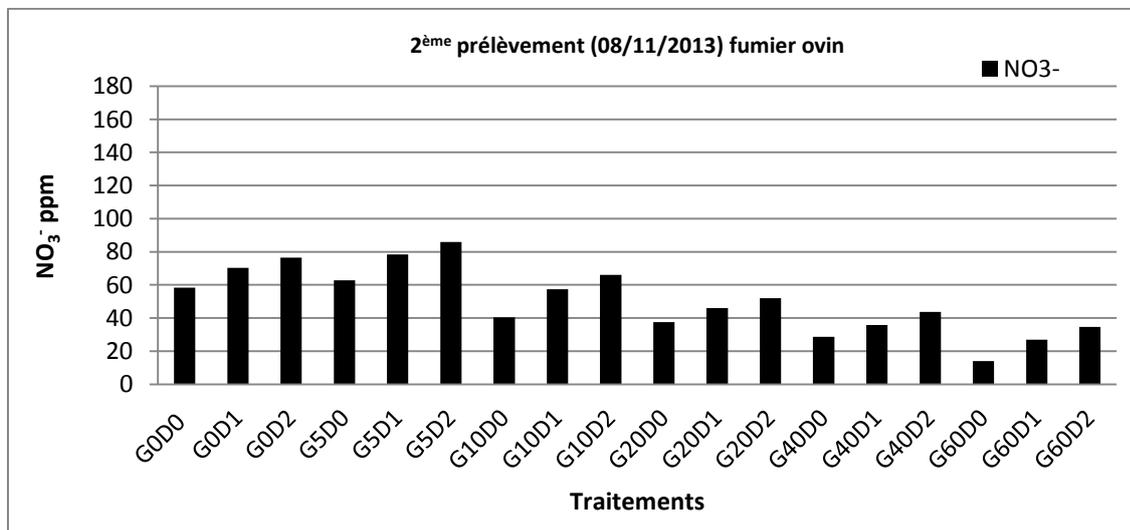


Figure 12: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du deuxième prélèvement.

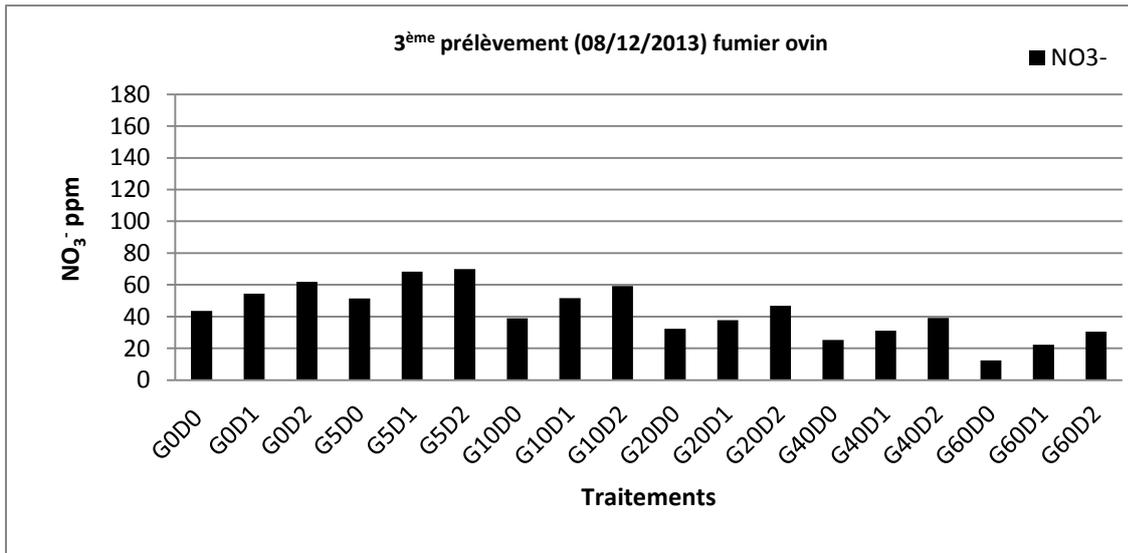


Figure 13: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du troisième prélèvement.

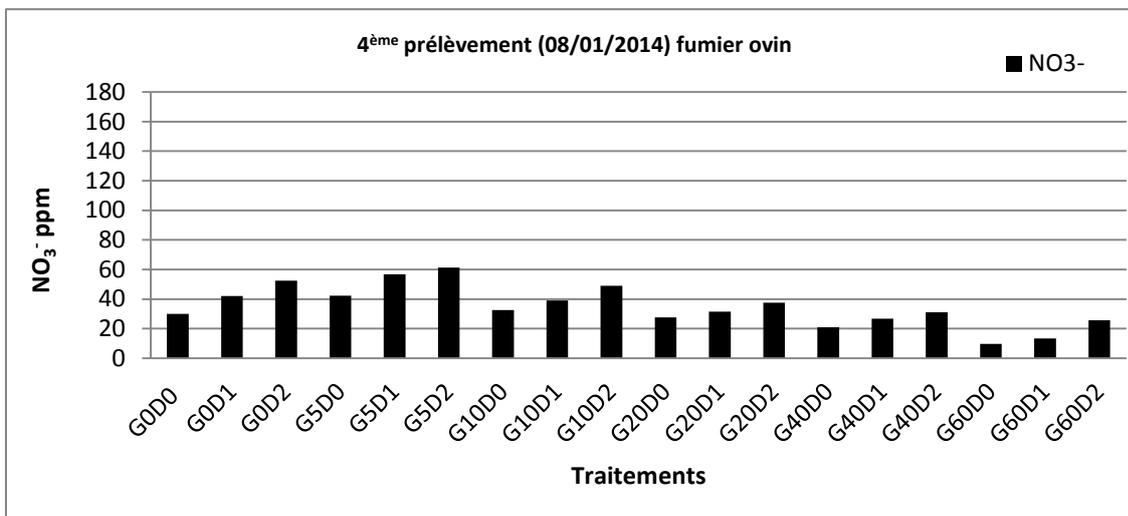


Figure 14: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du quatrième prélèvement.

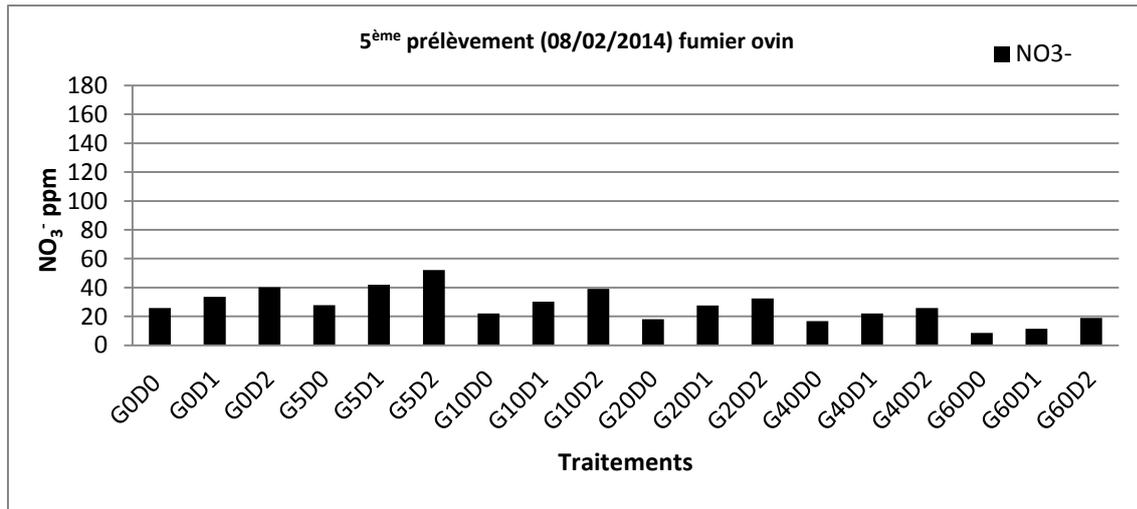


Figure 15: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du cinquième prélèvement.

IV.2.1.3. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en présence de fumier volaille

D'après les résultats qui sont représentés dans les figures 16, 17, 18 19 et 20, la quantité d'azote nitrique est classée d'ordre décroissant avec l'augmentation du taux de gypse et cela à partir de 5%. Le coefficient de corrélation entre l'azote nitrique et le taux de gypse est de ($r = -0,93$). Cette quantité varie entre 19,86 et 112,56 ppm durant toutes l'expérience.

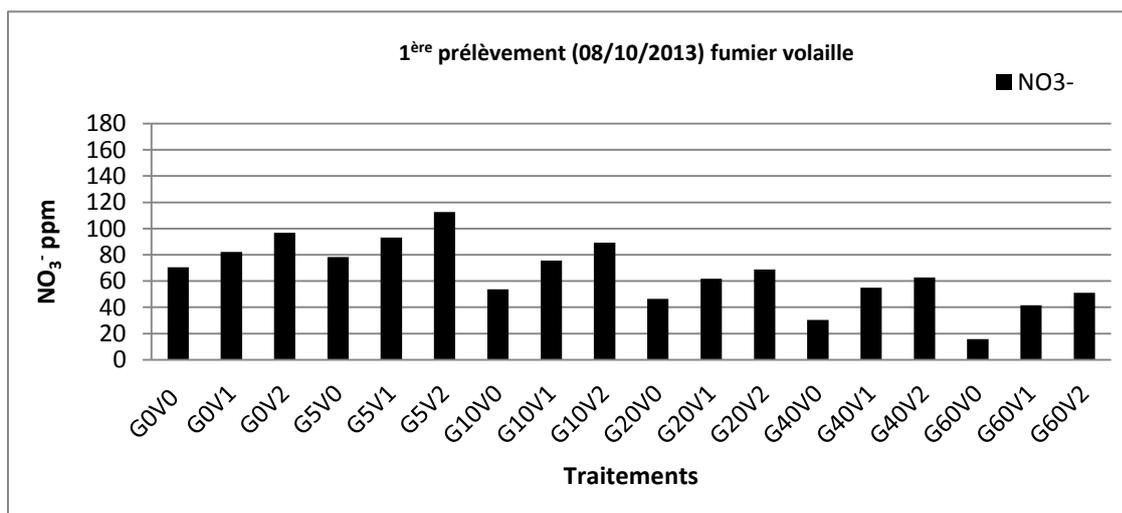


Figure 16: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du premier prélèvement.

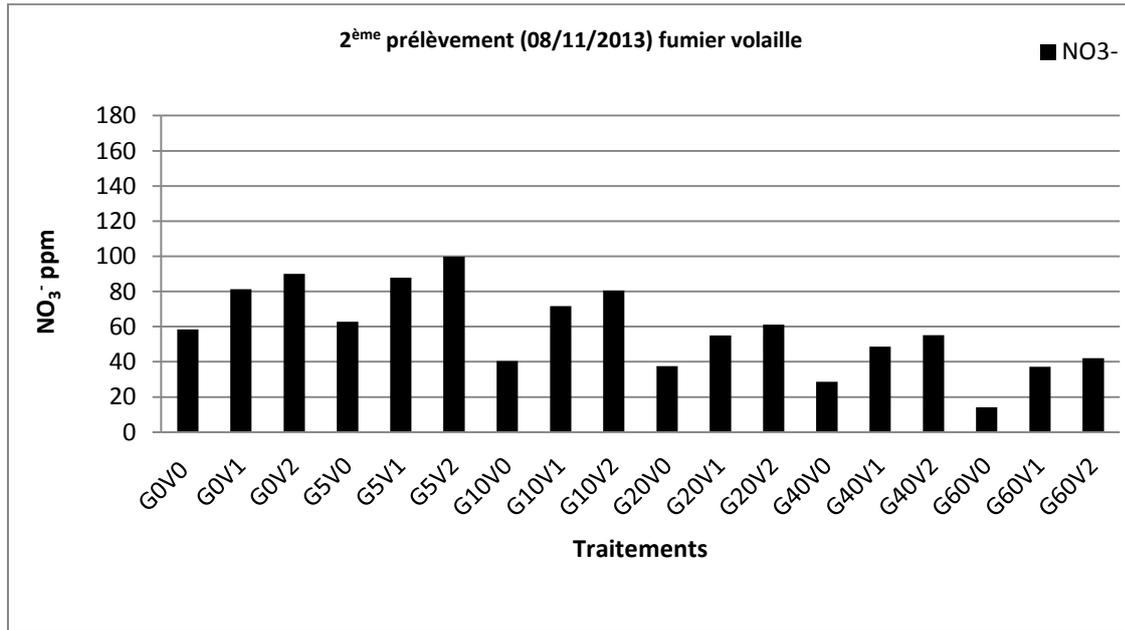


Figure 17: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du deuxième prélèvement.

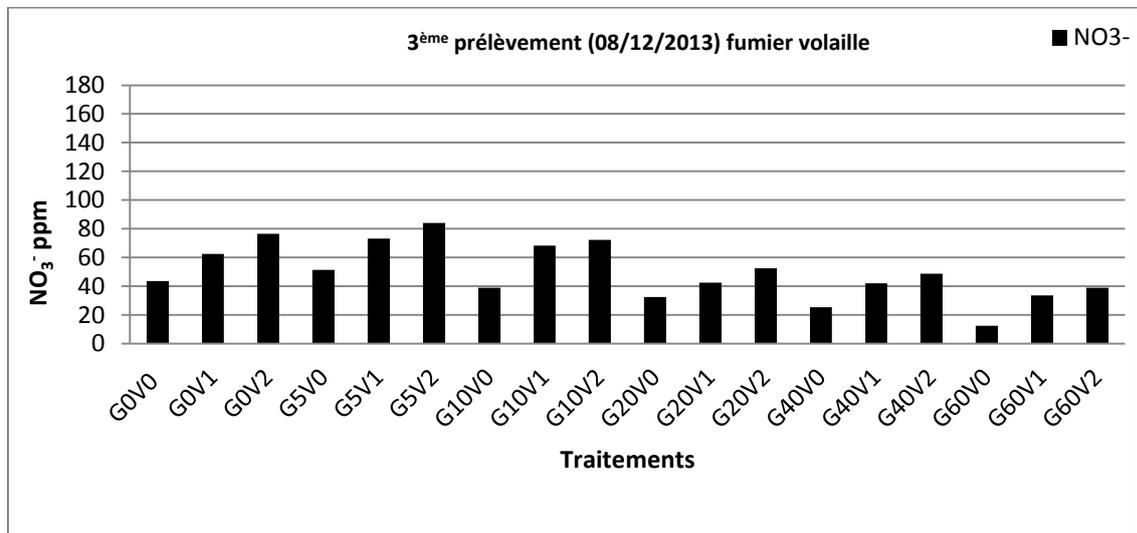


Figure 18: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du troisième prélèvement.

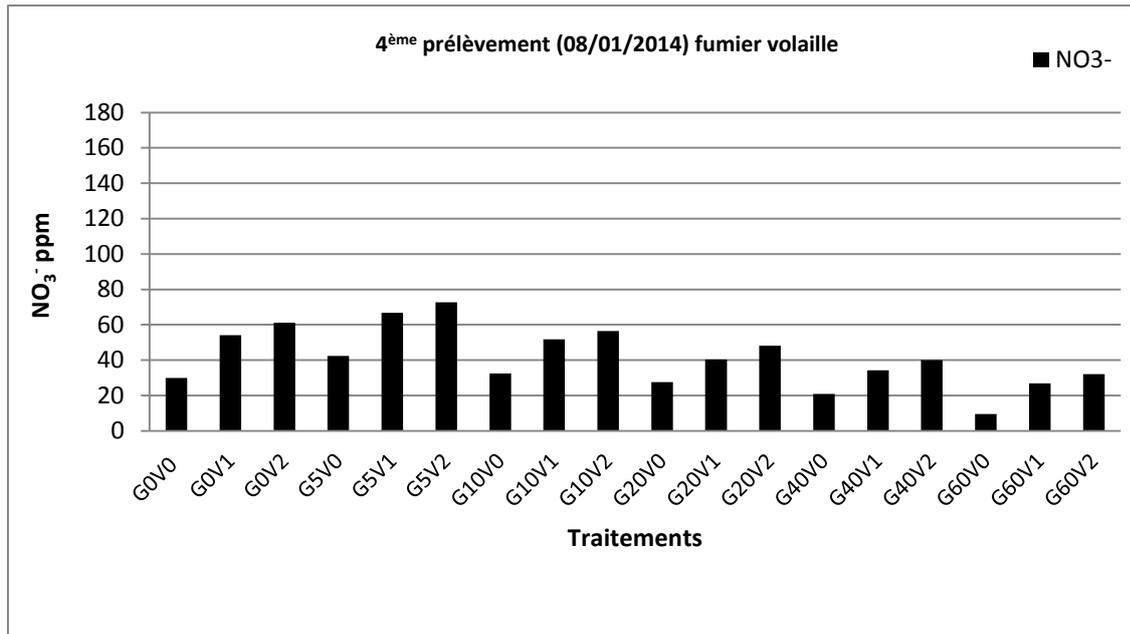


Figure 19: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du quatrième prélèvement.

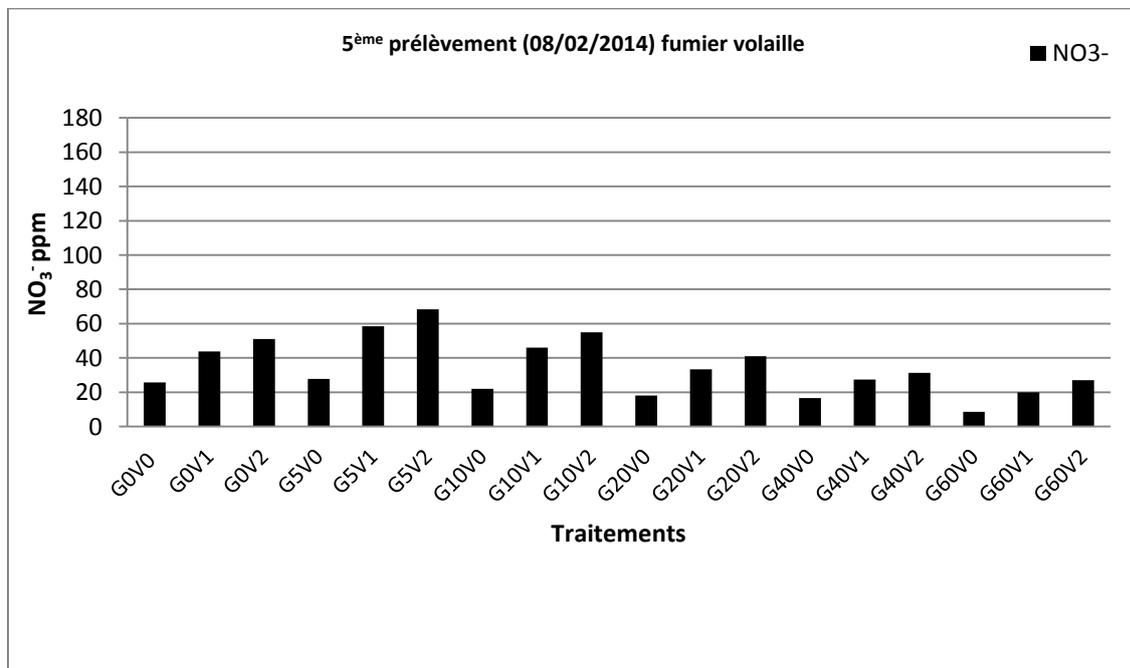


Figure 20: Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du cinquième prélèvement.

Les résultats de l'étude de Pochon et Barjac (1958) confirment que le calcium est indispensable à la nitrification, mais à faible dose 1mg/Kg de sol sec.

En outre, la quantité d'azote nitrique augmente avec l'augmentation de la dose de fumier volaille durant toute l'expérience ($r = 0,97$). C'est-à-dire il y a une stimulation de la nitrification avec l'apport de fumier.

IV.2.1.4. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote nitrique dans un sol semé par le ray grass en présence de fumier ovin et volaille

Nous remarquons d'après les figures 21, 22, 23, 24 et 25, qui représentent l'évolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence des deux types de fumier, que la quantité la plus élevée d'azote nitrique, est enregistrée avec la dose 5% en gypse et la plus faible avec la dose 60% en gypse. Et que l'augmentation du taux de gypse au-delà de 5%, provoque une diminution de la nitrification. Le coefficient de corrélation entre l'azote nitrique et le gypse est fort et négatif ($r = - 0,93$). L'analyse statistique confirme ce résultat (tableau 15). La diminution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse est peut être due à la diminution du nombre des bactéries responsables de la nitrification tels que : Nitrosomonas et Nitrobacter. Les travaux de Badia (2000), confirment la diminution du nombre des microorganismes nitrifiants sous l'effet du gypse.

Tableau 15: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du gypse sur la nitrification.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
5%	70,711	A
0%	60,586	B
10%	55,358	C
20%	43,601	D
40%	36,805	E
60%	26,964	F

Pour l'effet du fumier sur la nitrification, nous remarquons que les doses de fumier sont classées de l'ordre décroissant selon la quantité d'azote nitrique produite: $V_2 > V_1 > D_2 > D_1 > D_0, V_0$. L'apport de fumier volaille stimule mieux la nitrification que le fumier ovin ; mais en générale l'apport de fumier a un effet favorable sur la nitrification. L'analyse statistique soutient ce résultat (tableau 16). L'ajout d'un engrais organique au sol peut causer une

augmentation de la nitrification si l'ammonium est en abondance dans le milieu (Paul et al., 1993).

Aussi, la quantité la plus élevée en azote nitrique est enregistrée avec le traitement G₅V₂ (annexe 05).

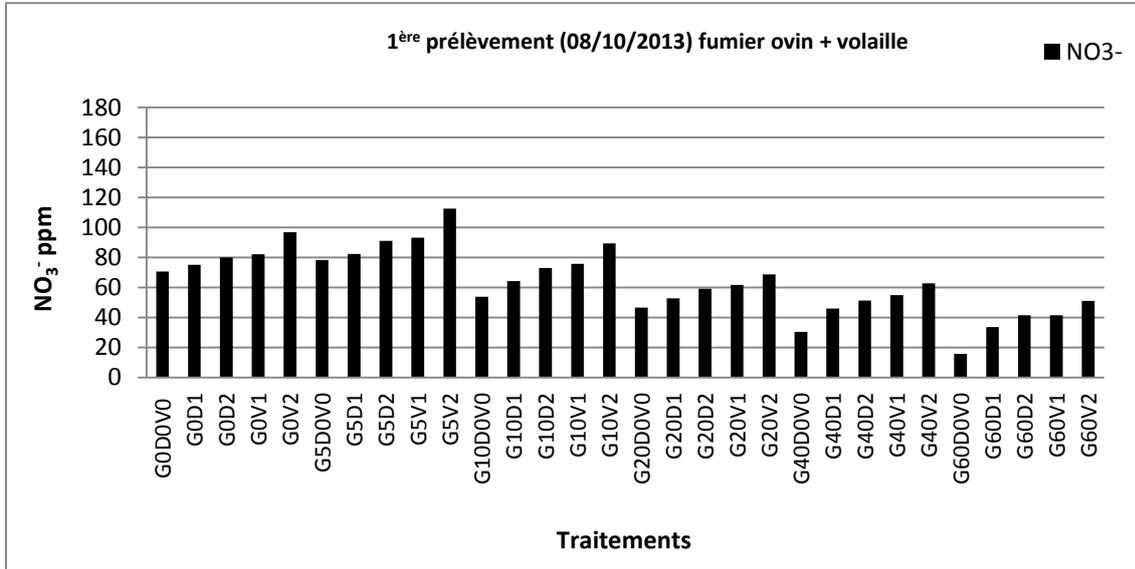


Figure 21 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du premier prélèvement.

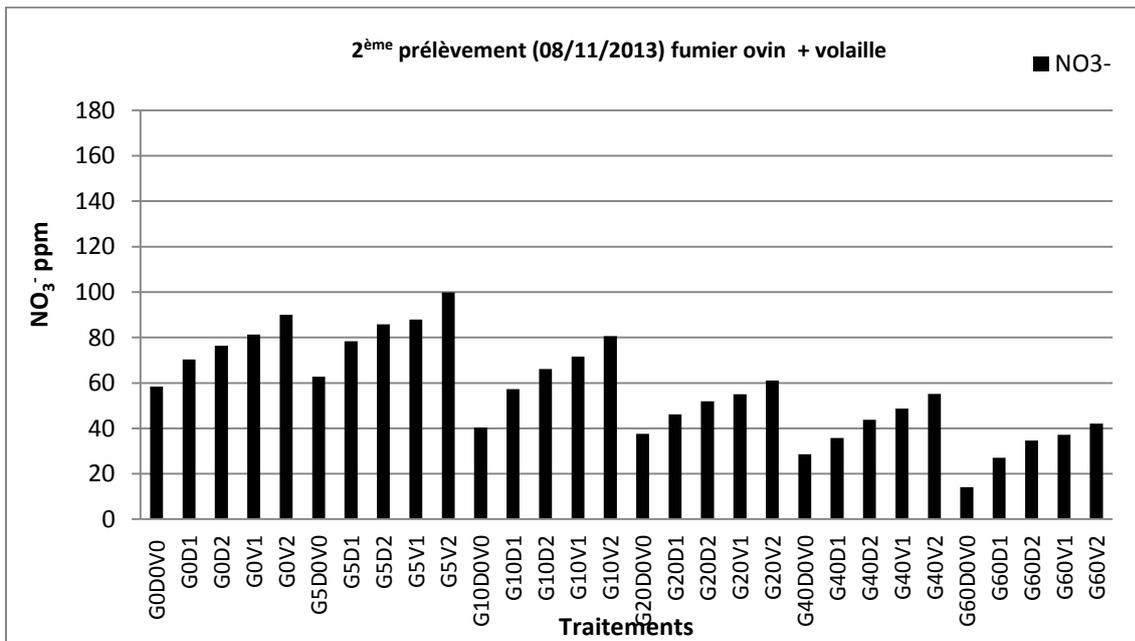


Figure 22 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du deuxième prélèvement.

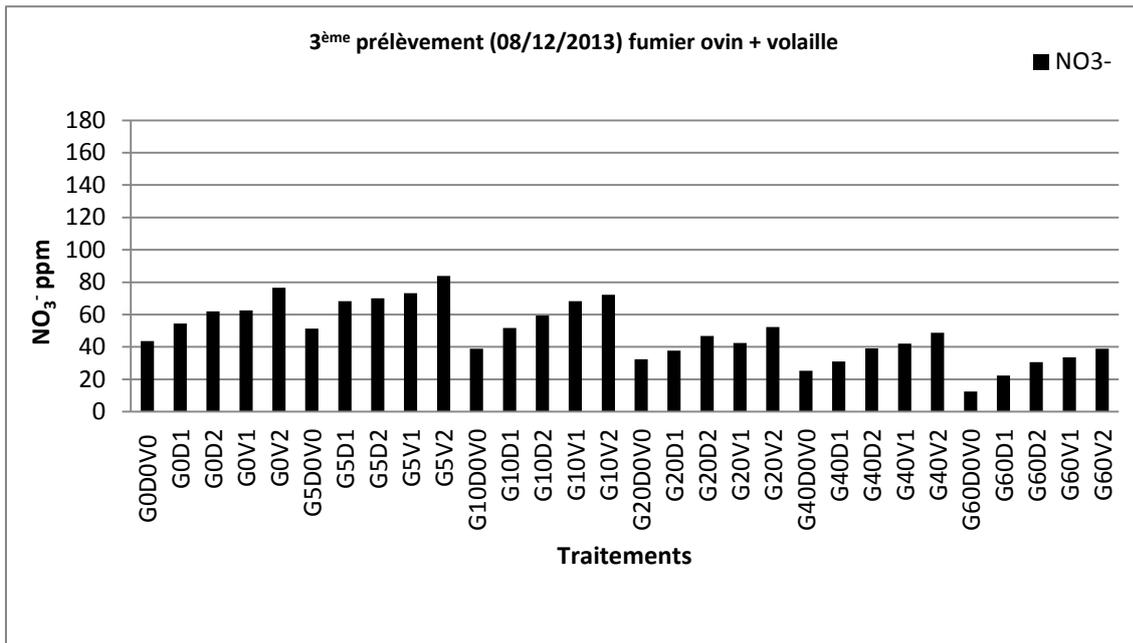


Figure 23 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du troisième prélèvement.

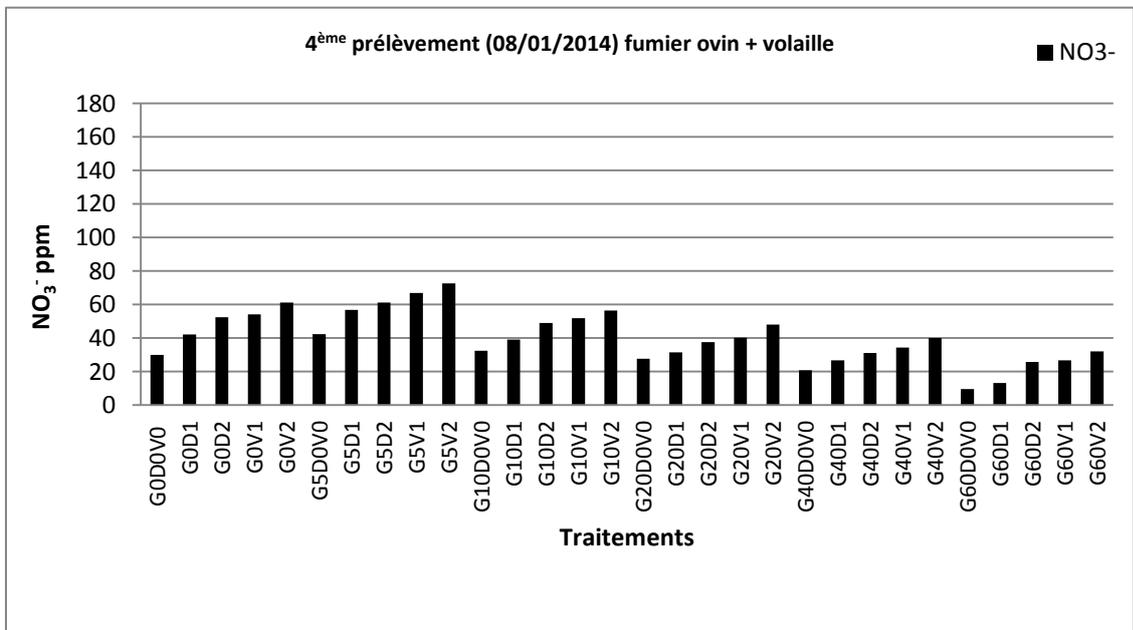


Figure 24 : Evolution de l'azote nitrique sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du quatrième prélèvement.

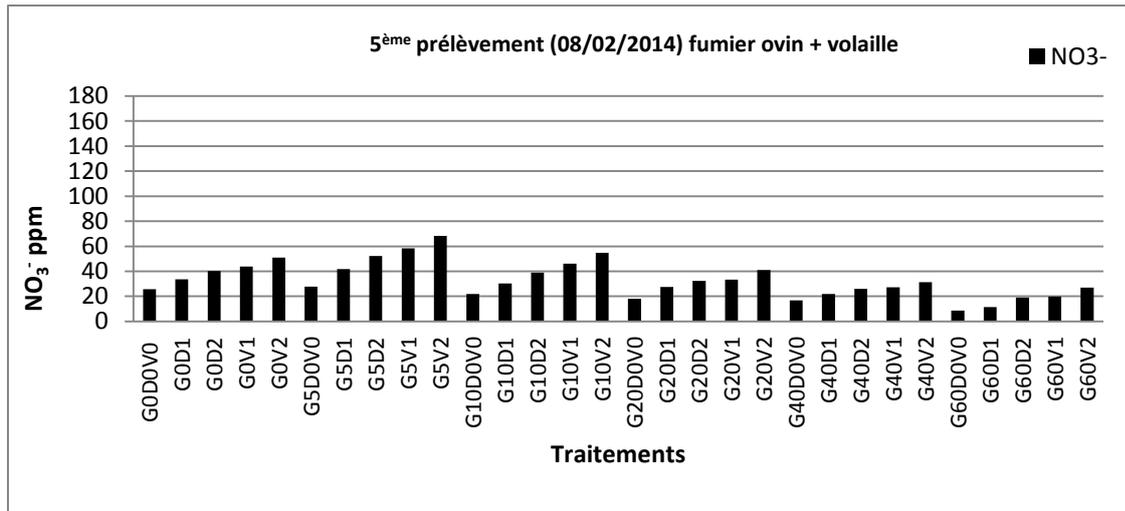


Figure 25 : Evolution de l’azote nitrique sous l’effet du gypse en présence et en absence de fumier du cinquième prélèvement.

Tableau 16: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l’effet moyen du fumier sur la nitrification.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V ₂	62,235	A
V ₁	54,104	B
D ₂	50,874	B
D ₁	43,711	C
D ₀	34,099	D
V ₀	34,099	D

IV.2.2. Effet du gypse sur l’évolution de l’azote ammoniacal dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier

IV.2.2.1. Effet du gypse sur l’évolution de l’azote ammoniacal en absence de fumier

L’évolution de l’azote ammoniacal sous l’effet du gypse en absence de fumier (figure 26), montre que le pourcentage de gypse de 5%, a enregistré la quantité la plus élevée en azote ammoniacal pour tous les prélèvements. Pour les autres doses de gypses, nous remarquons que les quantités enregistrées sont toutes inférieures au témoin (sans apport de gypse). En outre nous notons que l’augmentation du pourcentage de gypse au-delà de 5% induit une diminution de l’ammonification. Le coefficient de corrélation entre l’azote ammoniacal et le

taux du gypse est de $(r = - 0,89)$. La quantité de NH_4^+ enregistrée durant l'expérience varie entre 5,36 et 26,43 ppm.

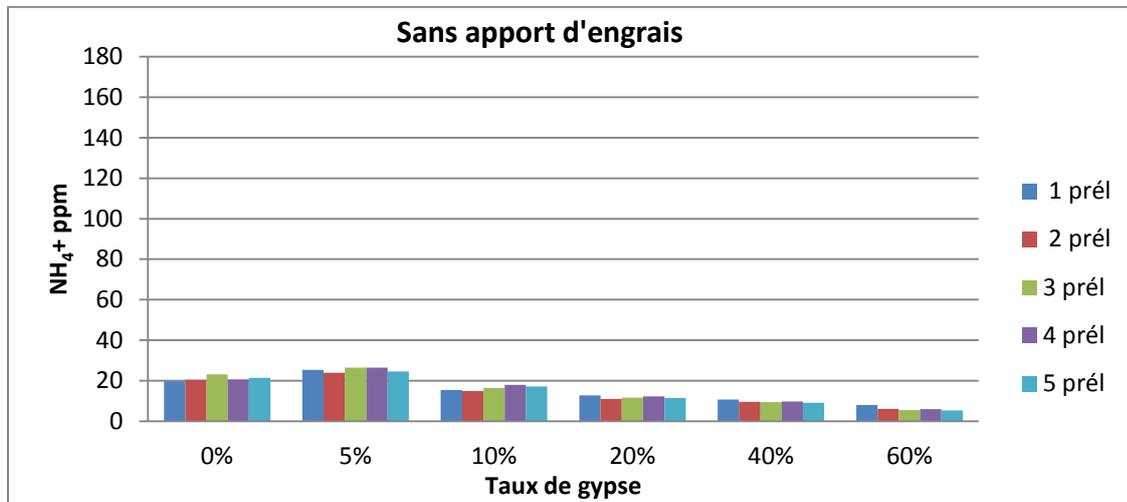


Figure 26: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en absence de fumier.

IV.2.2.2. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal en présence de fumier ovin

L'observation des figures 27, 28, 29, 30 et 31, révèle que l'évolution de la quantité de l'azote ammoniacal est en relation étroite avec le pourcentage du gypse. Elle est classée d'ordre décroissant avec l'augmentation du taux de gypse à partir de la dose 5% durant toute l'expérience. Le coefficient de corrélation entre le taux de gypse et l'azote ammoniacal est de $(r = - 0,87)$. Les valeurs enregistrées varient entre 10,01 et 44,82 ppm.

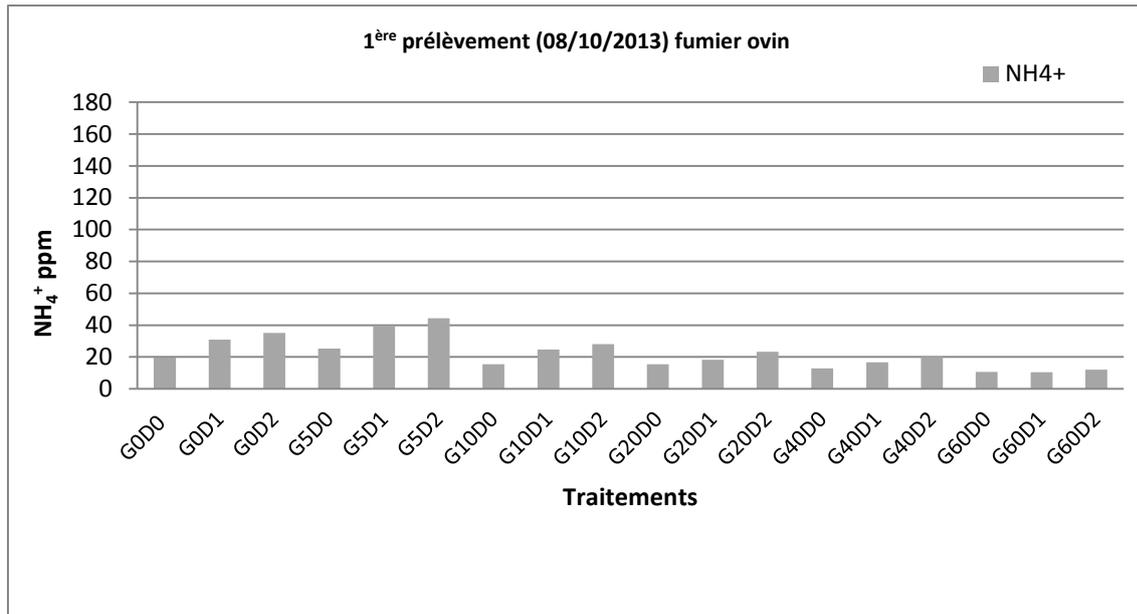


Figure 27: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du premier prélèvement.

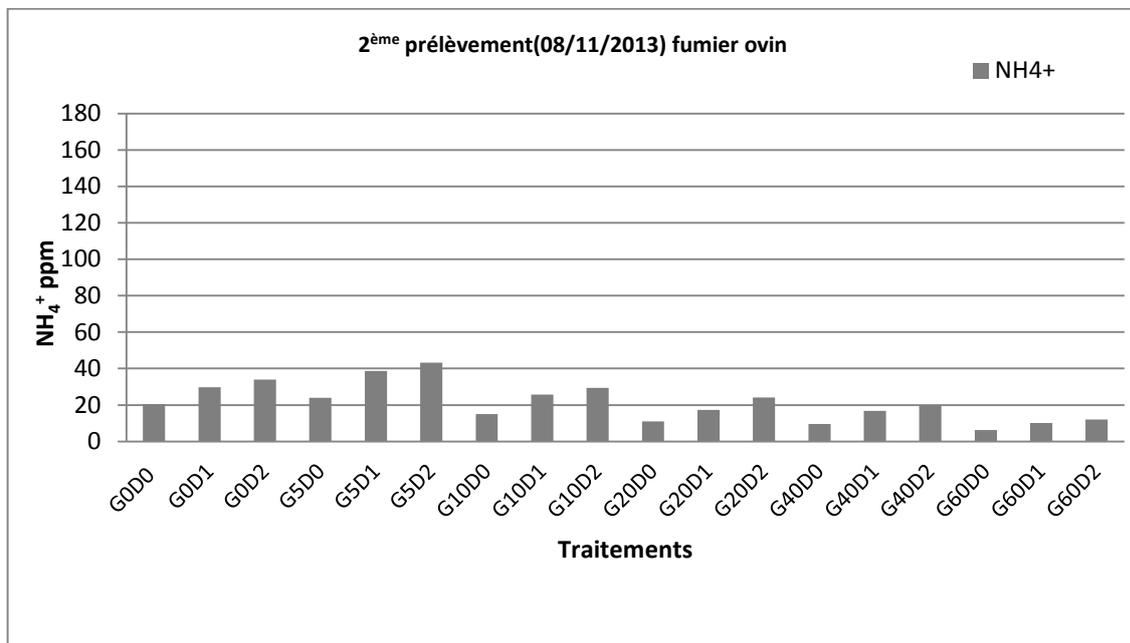


Figure 28: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du deuxième prélèvement.

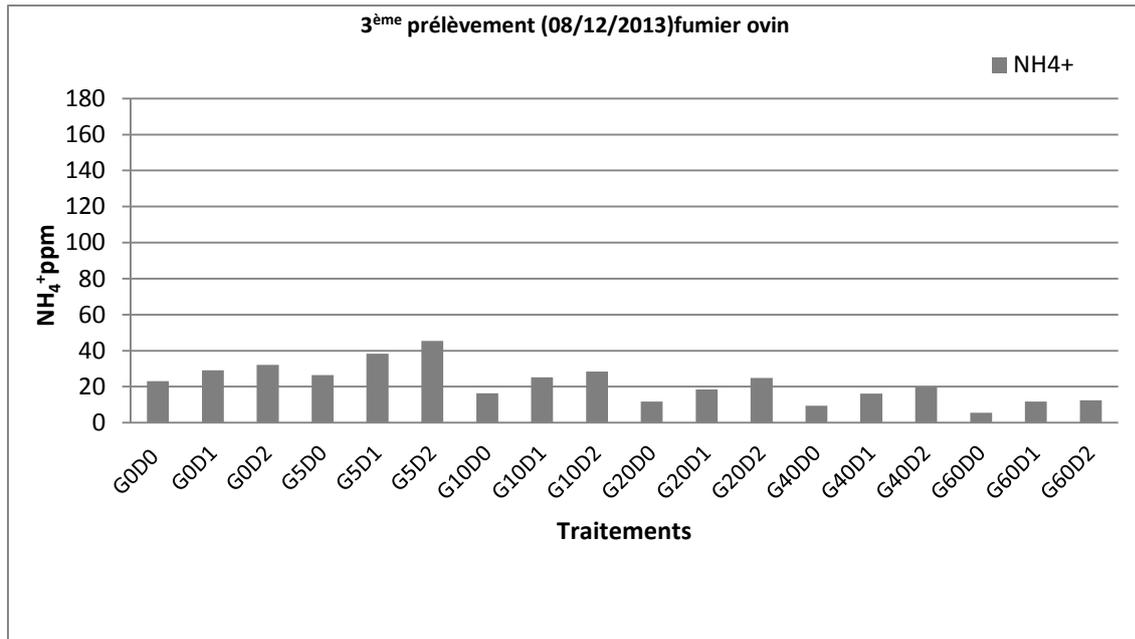


Figure 29: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du troisième prélèvement.

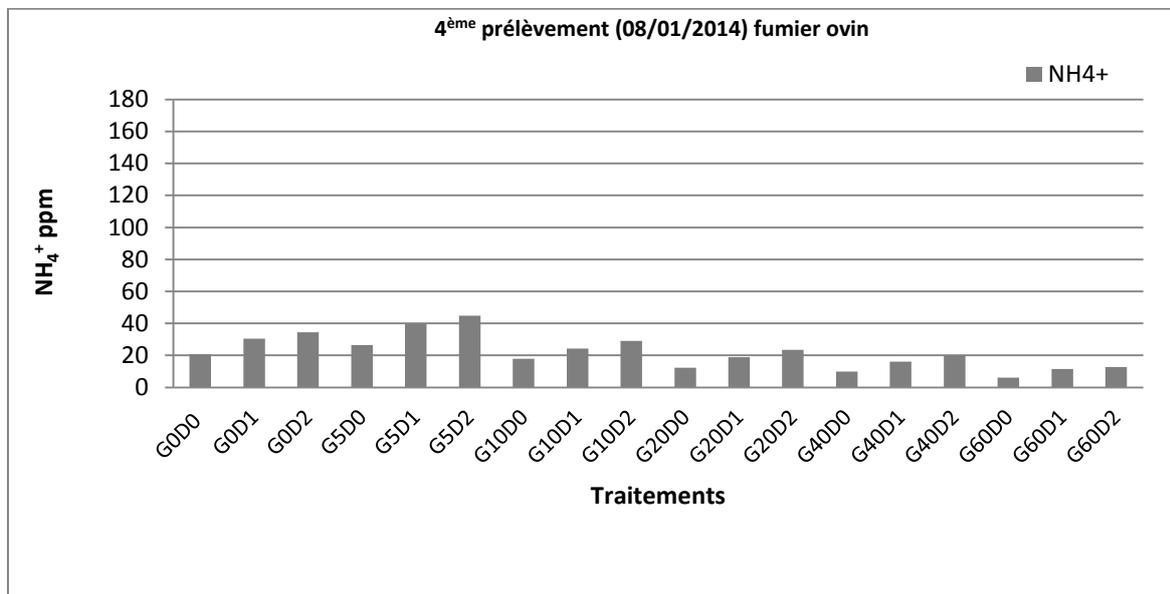


Figure 30: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du quatrième prélèvement.

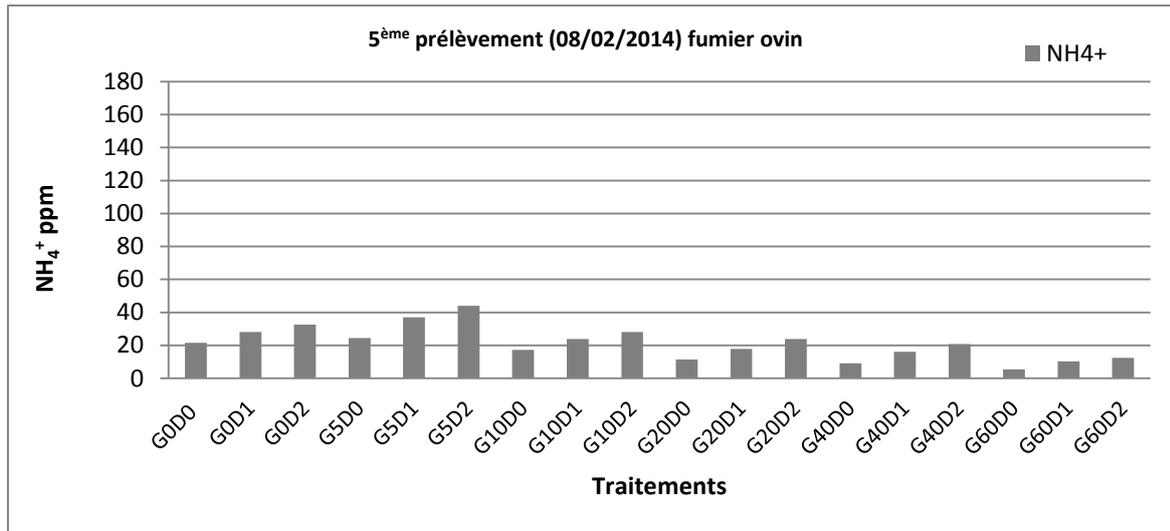


Figure 31: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du cinquième prélèvement.

Les faibles concentrations en calcium stimulant le processus de l'ammonification de l'azote du sol et de l'azote appliqué, cependant les concentrations élevées de ce dernier diminuent ce processus (Renault, 1958).

En outre concernant l'effet de la dose de fumier ovin sur la quantité de l'azote ammoniacal, nous notons que la dose la plus élevée D₂, libère la quantité la plus élevée en azote ammoniacal suivie par la dose D₁ par rapport au témoin. Donc elle est classée comme suit : D₂ > D₁ > D₀ pour tous les prélèvements. Le coefficient de corrélation entre le taux de fumier et l'azote ammoniacal est positif et fort ($r = 0,98$).

IV.2.2.3. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal en présence de fumier volaille

L'étude de l'effet de la dose du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal en présence de fumier volaille (figure 32, 33, 34, 35 et 36) montre que la quantité la plus élevée en azote ammoniacal est enregistrée avec la dose 5% en gypse, et la quantité la plus faible est enregistrée avec la dose 60% de gypse. Nous remarquons que la quantité d'azote ammoniacal est classée d'ordre décroissant à partir de 5% selon le pourcentage de gypse: 5% > 10% > 20% > 40% > 60%. Donc, l'ammonification de l'azote organique est inversement proportionnelle à

la dose de gypse ($r = -0,87$). Nous enregistrons des quantités d'azote ammoniacal variant entre 14,17 et 55,40 ppm durant l'expérience.

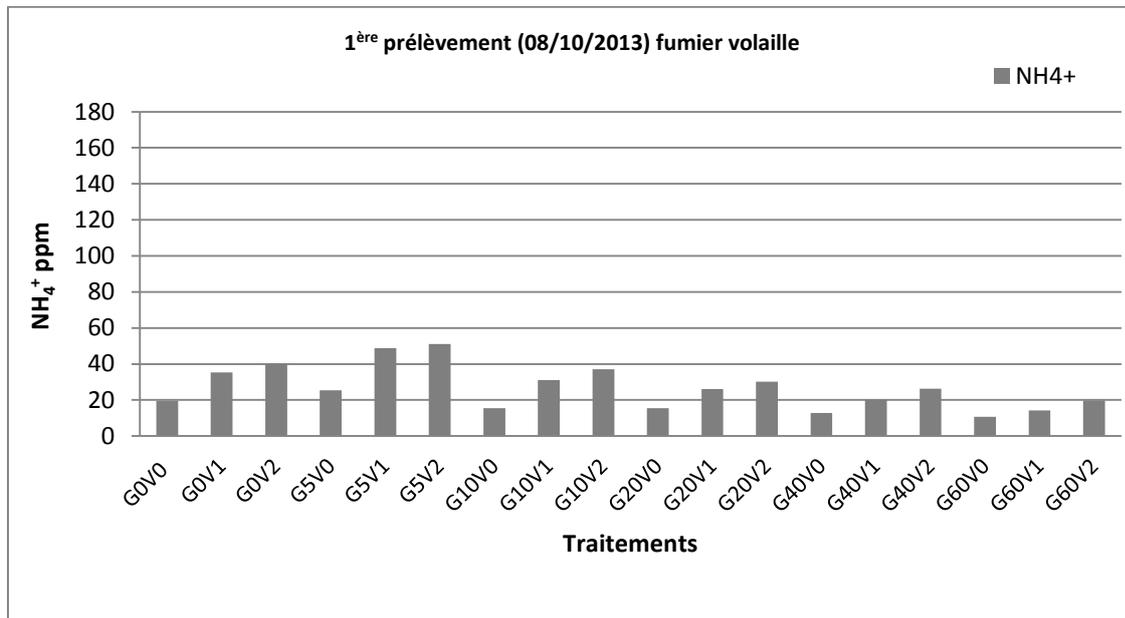


Figure 32: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du premier prélèvement.

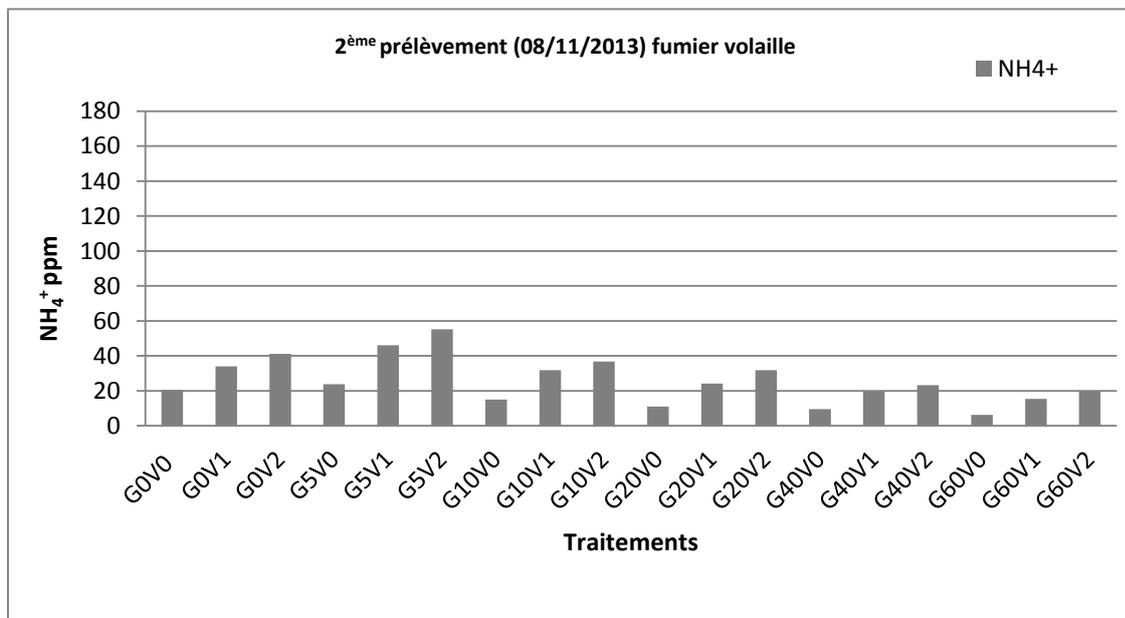


Figure 33: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du deuxième prélèvement.

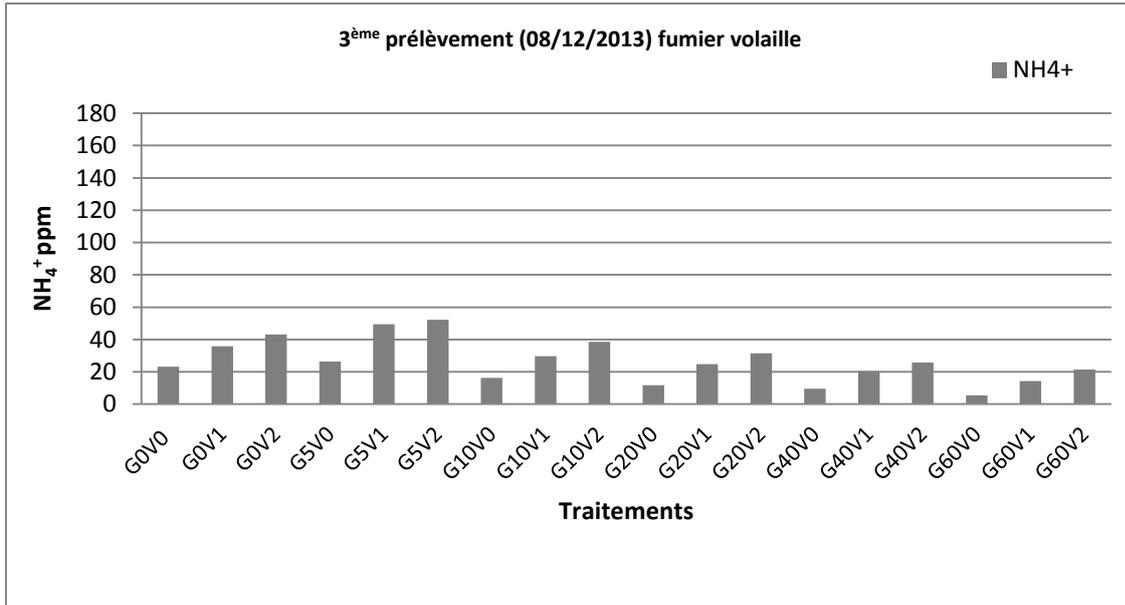


Figure 34: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du troisième prélèvement.

En ce qui concerne l'effet de la dose de fumier volaille, nous notons que la dose V₂ a enregistré la quantité la plus élevée en azote ammoniacal suivie par la dose V₁ par rapport au témoin (V₀). On peut dire que l'apport de fumier volaille a accéléré l'ammonification. Le coefficient de corrélation entre le gypse et l'ammonification est de ($r = 0,97$).

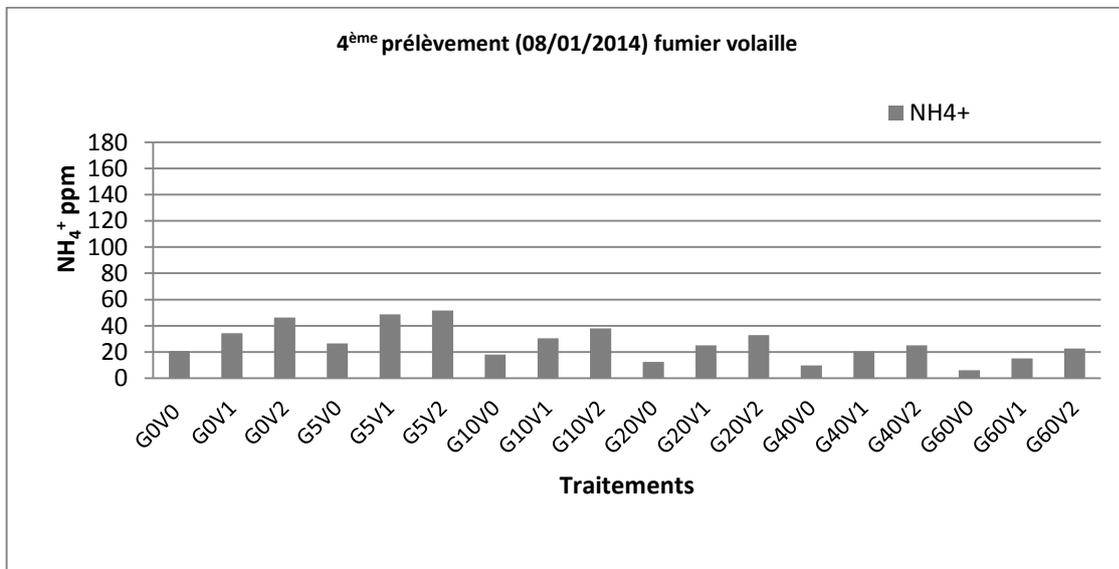


Figure 35: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du quatrième prélèvement.

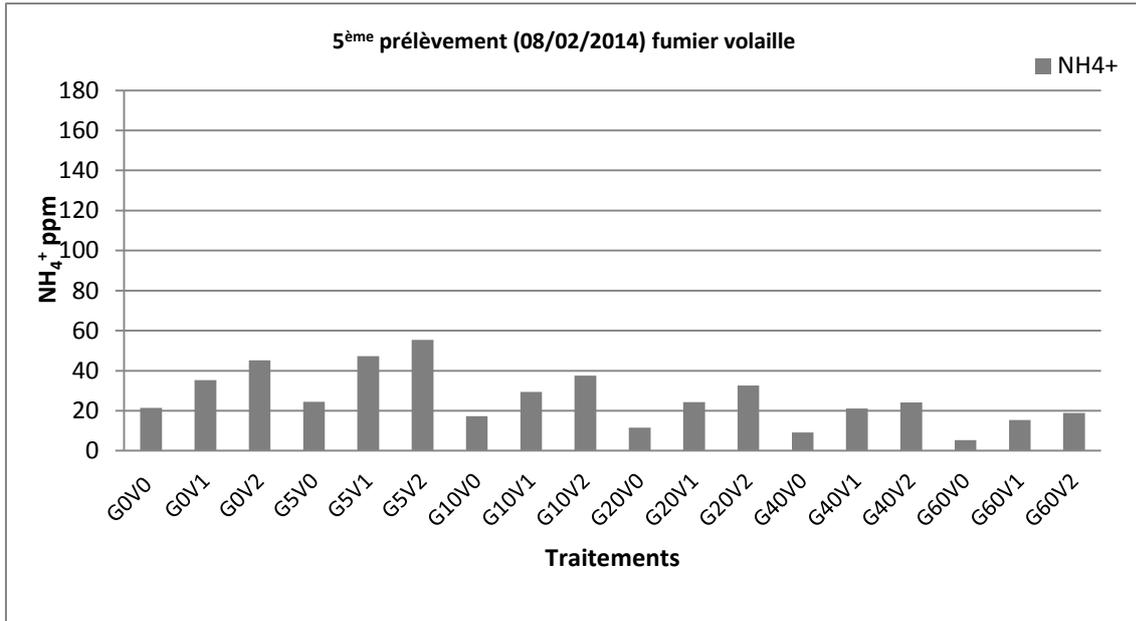


Figure 36: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du cinquième prélèvement.

IV.2.2.4. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote ammoniacal en présence de fumier ovin et volaille

L'analyse des figures 37, 38, 39, 40 et 41, montre que l'augmentation du taux de gypse au-delà de 5% provoque une diminution de l'ammonification. L'analyse statistique confirme ce résultat (tableau 17).

En outre, la vitesse de l'ammonification est la plus élevée pour le fumier volaille que le fumier ovin. La dose V₂ présente une meilleure ammonification que la dose V₁ pour le fumier volaille. Les mêmes résultats sont obtenus pour le fumier ovin respectivement pour la dose D₂ et D₁ par rapport témoin. Le coefficient de corrélation entre la dose de fumier et l'ammonification est de 0,92; il est positif et fortement corrélé. En outre l'analyse statistique affirme ce résultat (tableau 18).

En ce qui concerne l'interaction entre l'effet du taux de gypse, le type et la dose de fumier ; une meilleure ammonification est enregistrée avec le traitement G₅V₂ (annexe 06).

Tableau 17: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du gypse sur l'ammonification.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
5%	41,895	A
0%	32,503	B
10%	27,565	C
20%	22,224	D
40%	18,369	E
60%	10,036	F

Tableau 18: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du fumier sur l'ammonification.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V ₂	35,179	A
V ₁	28,922	B
D ₂	27,155	C
D ₁	23,058	D
D ₀	15,349	E
V ₀	15,349	E

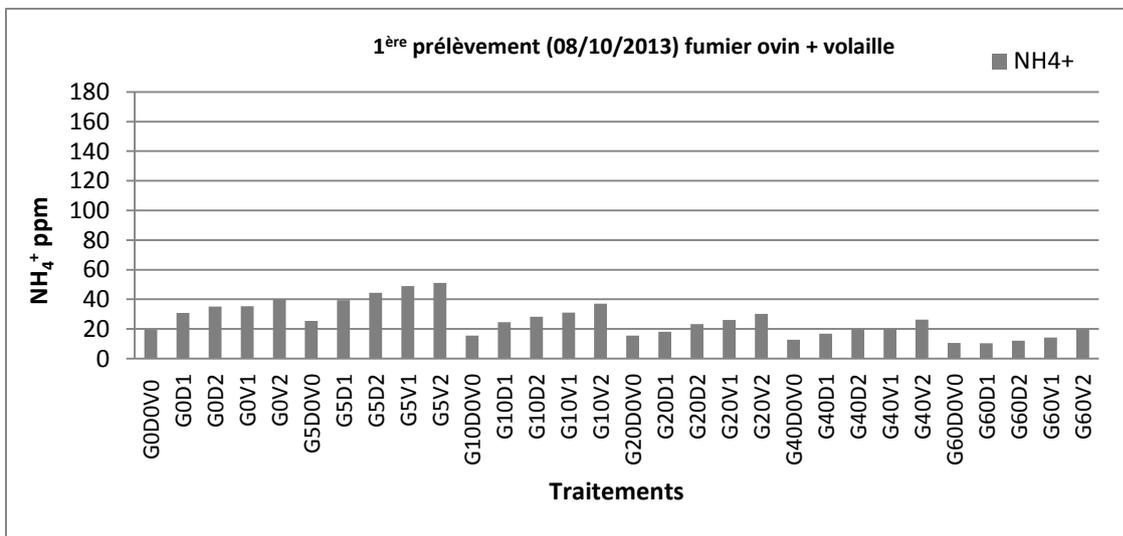


Figure 37: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du premier prélèvement.

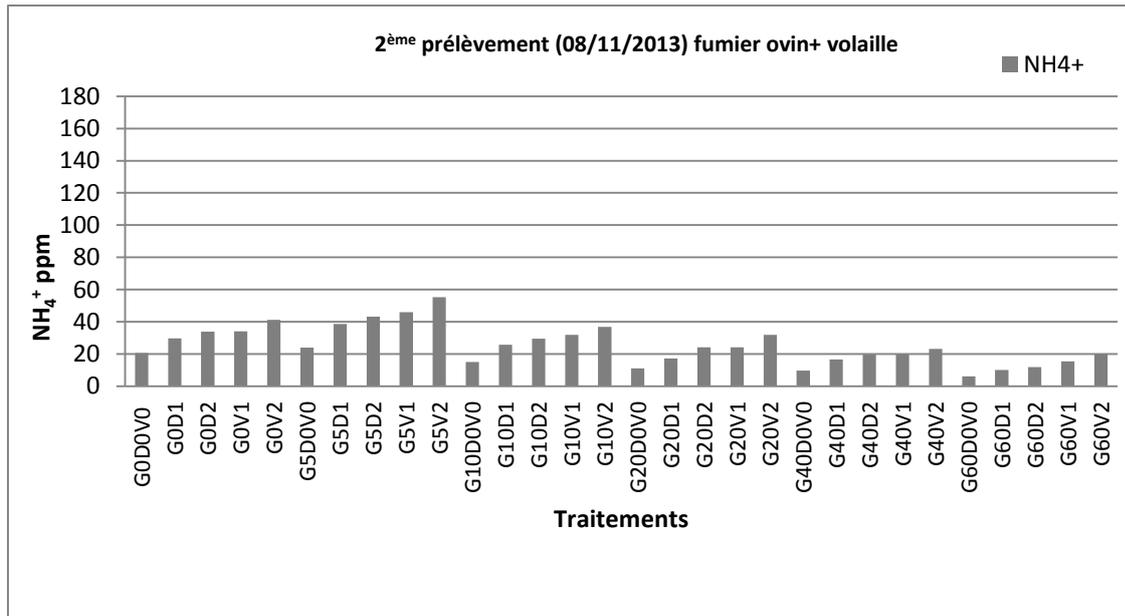


Figure 38: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du deuxième prélèvement.

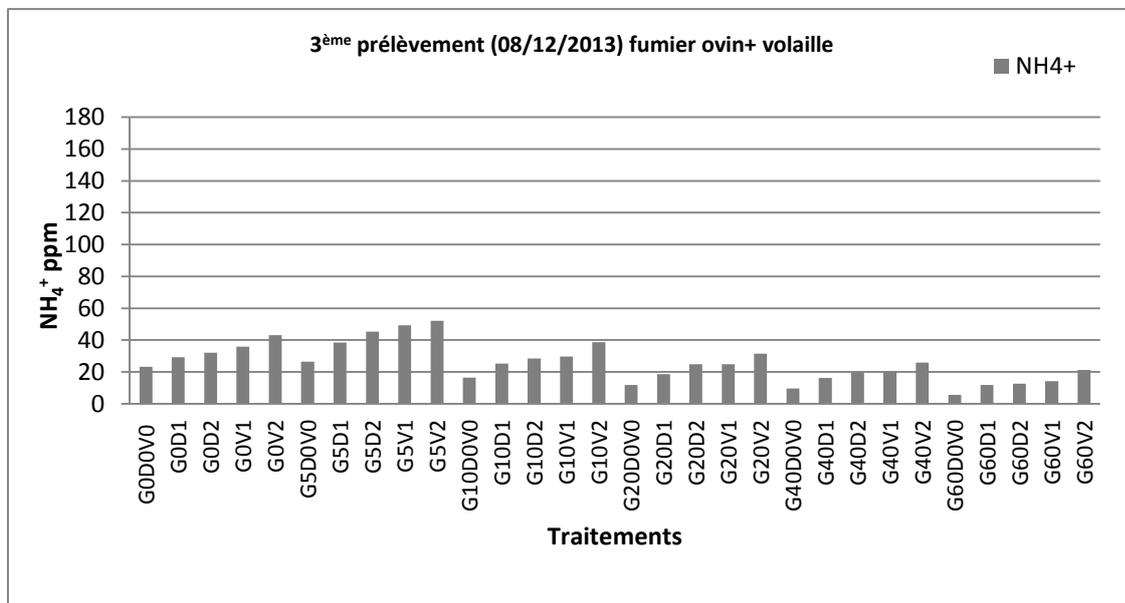


Figure 39: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du troisième prélèvement.

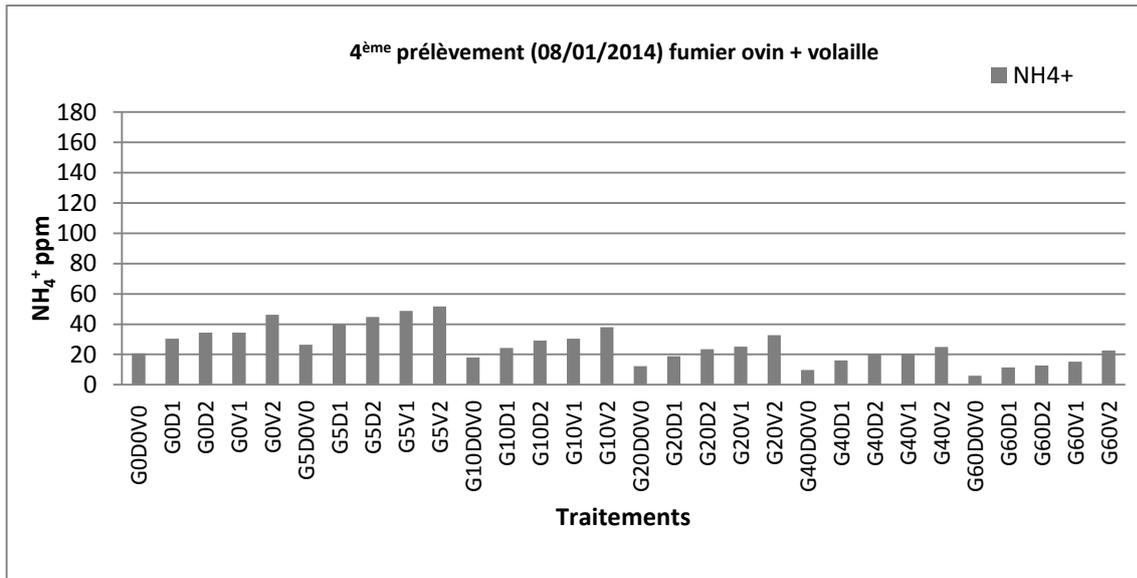


Figure 40: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence du fumier du quatrième prélèvement.

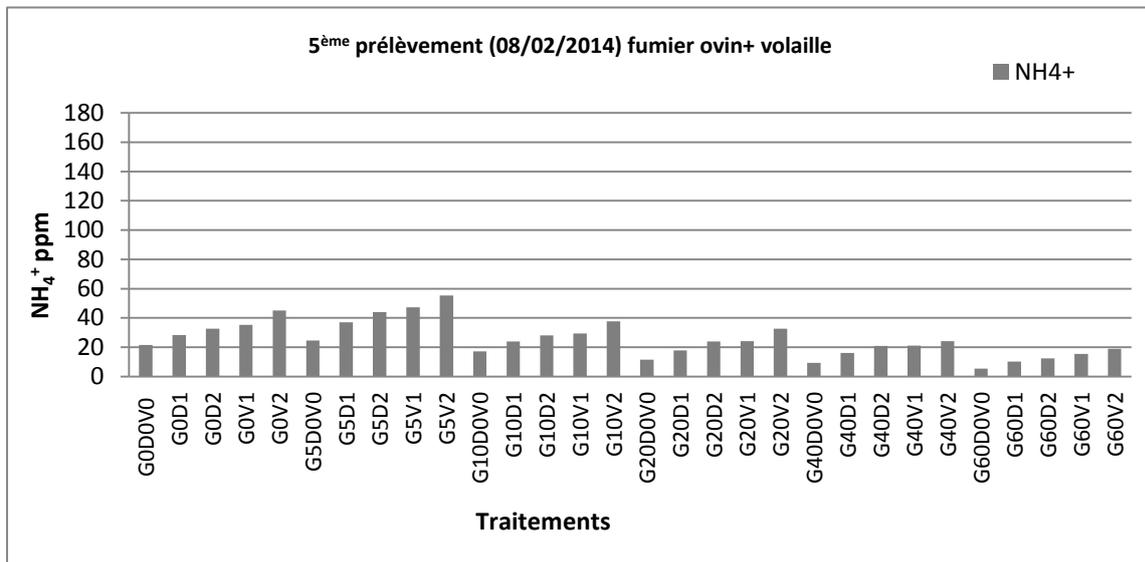


Figure 41: Evolution de l'azote ammoniacal sous l'effet du gypse en présence et en absence du fumier du cinquième prélèvement.

IV.2.3. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral dans un sol semé par le ray grass en présence et en absence de fumier

IV.2.3.1. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en absence de fumier

Nous enregistrons, une meilleure minéralisation de l'azote organique avec la dose 5% de gypse (figure 42). De plus, nous remarquons un ralentissement de la minéralisation avec l'augmentation du taux de gypse à partir de la dose 5% de gypse. Le coefficient de corrélation entre le taux de gypse et l'azote minéral est de ($r = -0,93$). Nous notons une quantité d'azote minéral varie de 13,88 à 103,67 ppm durant toute l'expérience.

D'après Vong et al (1989), la production d'azote minéral à une période donnée dépend étroitement des conditions climatiques, mais aussi en fonction des caractères physiques et chimiques propres des sols. D'une manière générale, la minéralisation de N organique est la résultante de l'interaction de divers paramètres édaphiques incluant entre autres pH, rapport C/N, texture, température, aération, humidité, état nutritif du sol et teneurs en matière organique, argile et CaCO_3 (Campbell et Souster, 1982).

Singh et Taneja (1977), rapportent que le taux de minéralisation de l'azote dans les sols salins non gypsifères sont généralement stimulés par l'addition du gypse à un taux de 2,5 à 5 t/ha. Toutefois, l'addition des taux plus élevés de gypse (7,5 à 10 t/ha) a conduit à un niveau inférieur de minéralisation de l'azote.

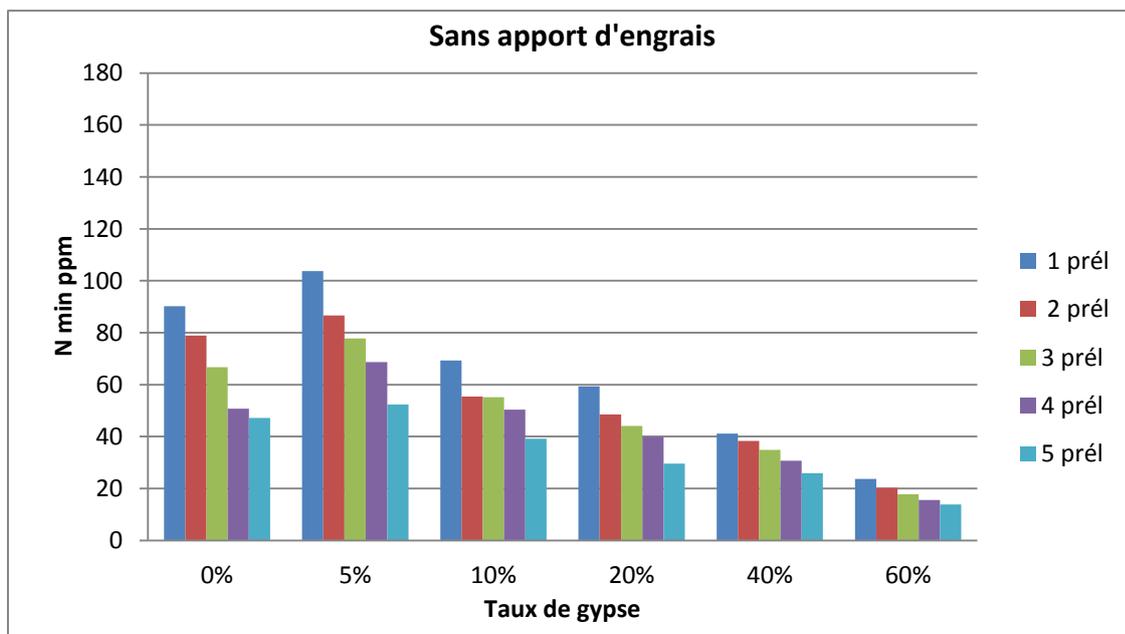


Figure 42: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en absence de fumier.

IV.2.3.2. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en présence de fumier ovin

L'analyse des figures 43, 44, 45, 46 et 47 révèle que le taux le plus élevé en azote minéral est enregistré avec la dose 5% de gypse. Cette quantité diminue avec l'augmentation du taux de gypse au-delà de 5%. Le coefficient de corrélation entre le taux de gypse et l'azote minéral est de $(r = - 0,91)$. D'autre part, l'ajout du fumier accélère la minéralisation de l'azote organique. Le coefficient de corrélation entre le fumier et l'azote minéral est de $(r = 0,91)$. Les valeurs enregistrées varient entre 21,66 à 115,11 ppm d'azote minéral au cours de l'expérience.

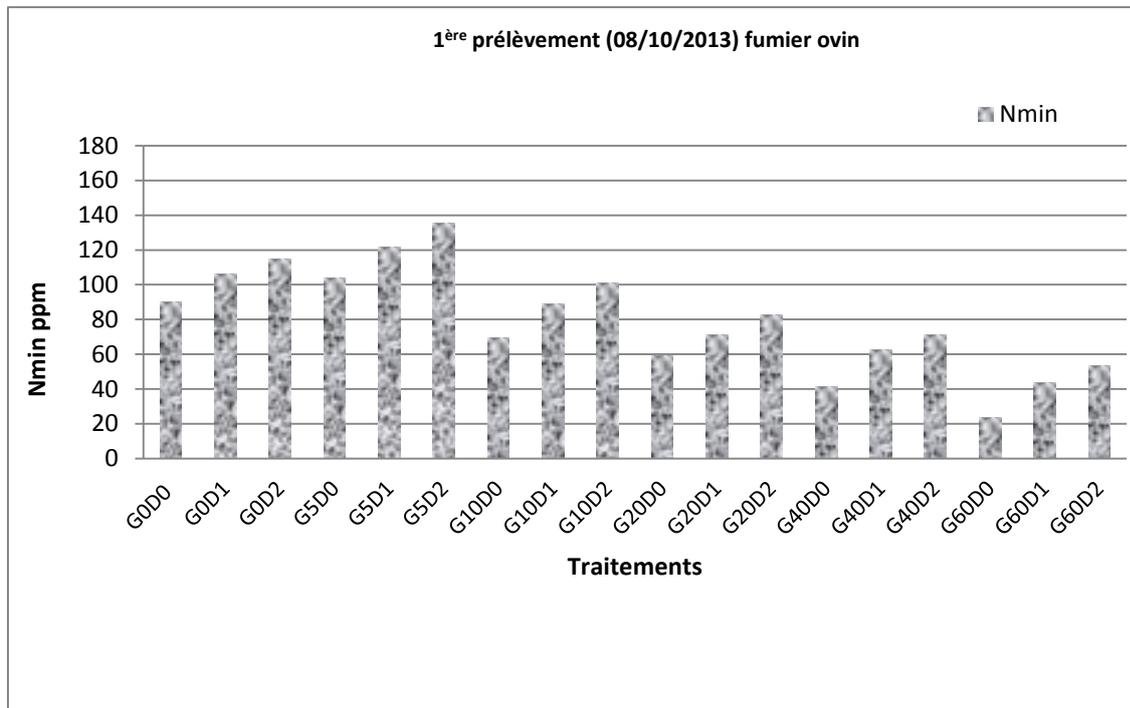


Figure 43 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du premier prélèvement.

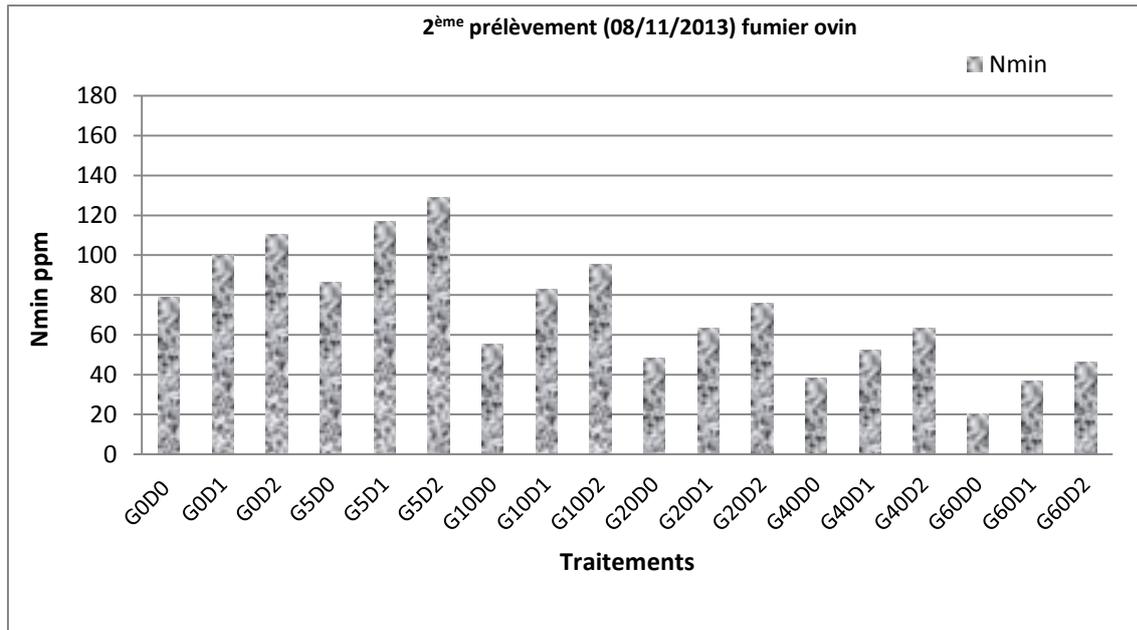


Figure 44 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du deuxième prélèvement.

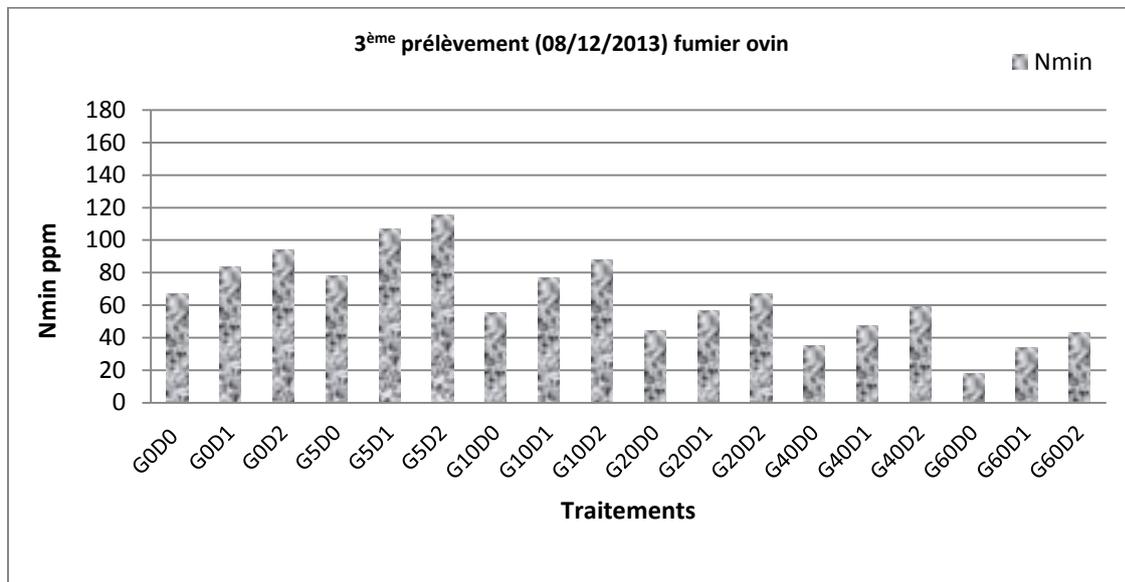


Figure 45 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du troisième prélèvement.

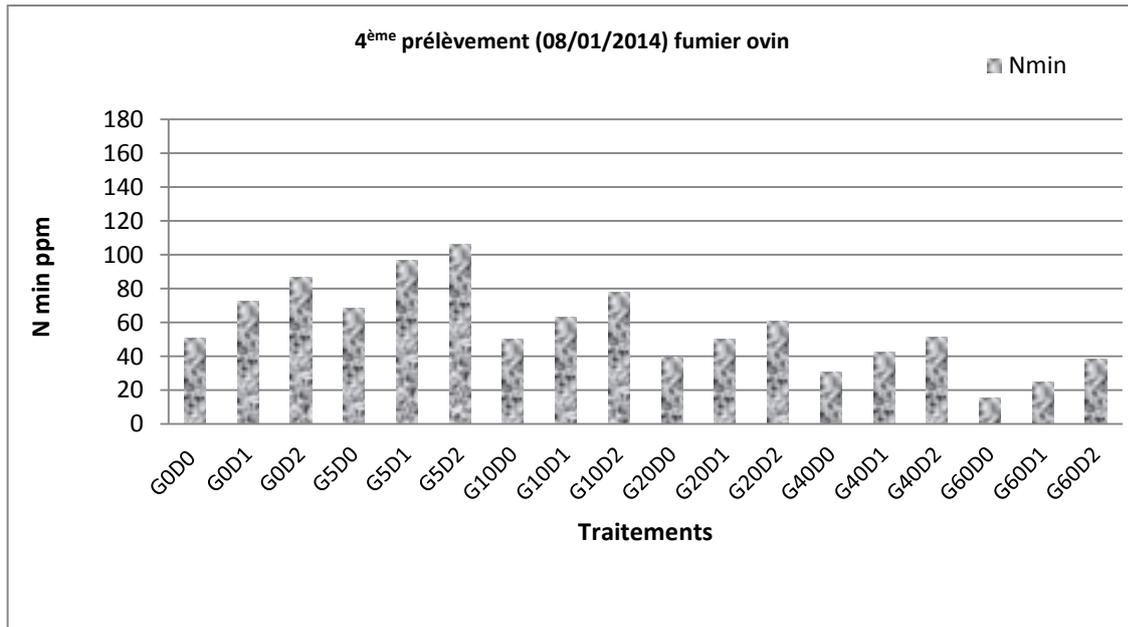


Figure 46 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du quatrième prélèvement.

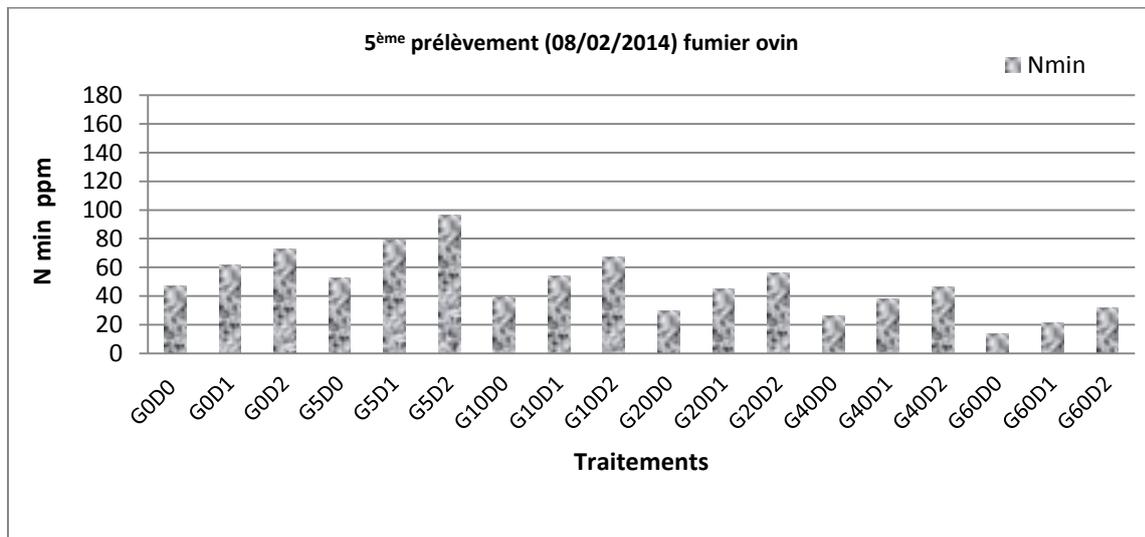


Figure 47 : Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin du cinquième prélèvement.

La vitesse de minéralisation de N organique dépend de plusieurs facteurs liés au sol (propriétés édaphiques) et aux micro-organismes; elle varie aussi selon le type, la composition et le rapport C/N des amendements organiques (Amlinger et *al.*, 2003). L'activité de la microflore minéralisatrice peut être influencée par la présence de l'argile et du calcium

(Chaussod et al, 1986) qui exercent une protection sur la matière organique et affectent donc la capacité de minéralisation du sol (Delphin, 1986).

Haddas et Portnoy (1994) ont observé, après une semaine d'incubation, une augmentation des quantités d'azote minéral dans le sol amendé par le fumier composté plus que dans le sol non amendé.

IV.2.3.3. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en présence de fumier volaille

La minéralisation de l'azote organique, dans un sol semé avec le ray grass, est activée avec des faibles taux en gypse (5%). Par contre, elle diminue à partir de ce taux. Cependant, elle atteint un faible rythme avec la dose 60% en gypse. Le coefficient de corrélation entre le taux de gypse et la minéralisation de l'azote organique est négatif et fort ($r = -0,87$). Les quantités d'azotes minéraux enregistrés durant l'expérience varient entre 35,16 et 136,99 ppm (figure 48, 49, 50, 51 et 52).

Nous remarquons aussi une meilleure minéralisation avec la dose V₂ par rapport aux autres doses. Le coefficient de corrélation entre la dose de fumier et l'azote minéral est positif et fort ($r = 0,97$).

La production d'azote minéral dans le sol est un processus induit par la décomposition des matières organiques par la flore et la faune du sol notamment par la micro-flore bactérienne et fongique (Mary et Justes, 2001).

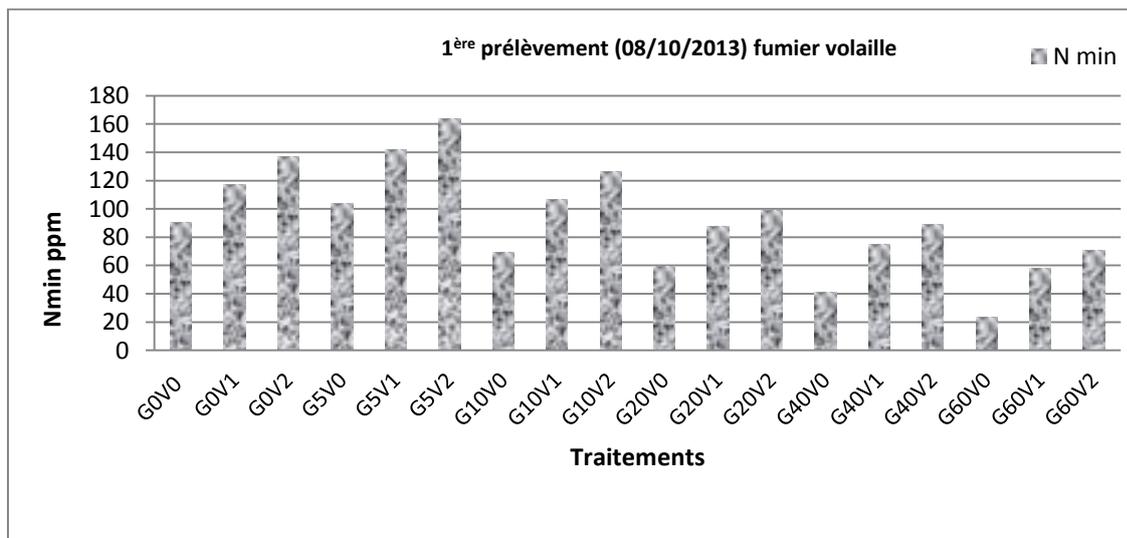


Figure 48: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du premier prélèvement.

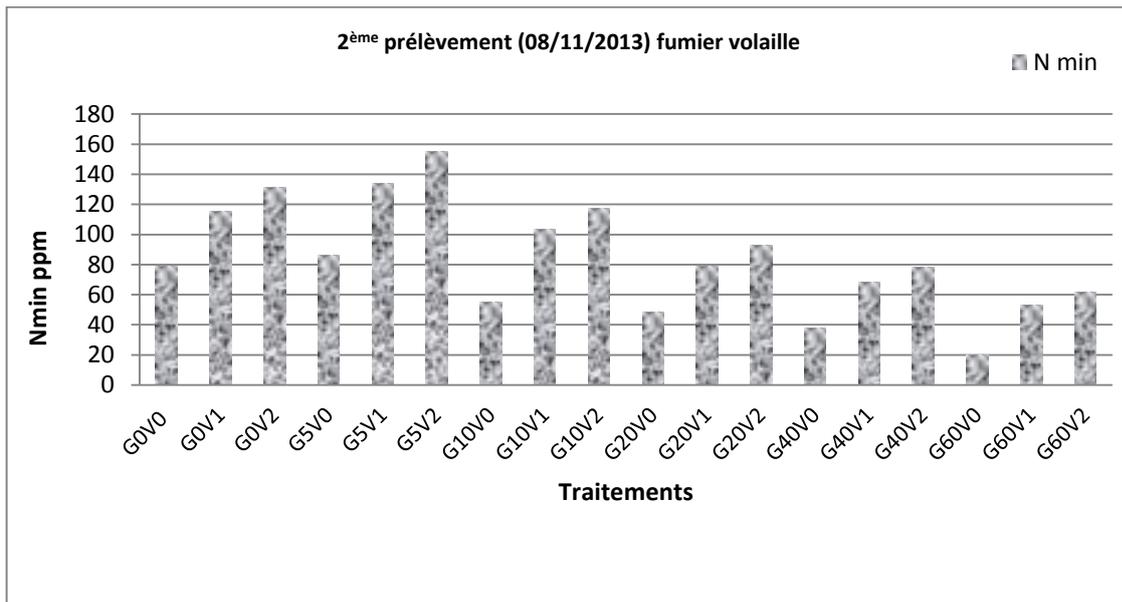


Figure 49: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du deuxième prélèvement.

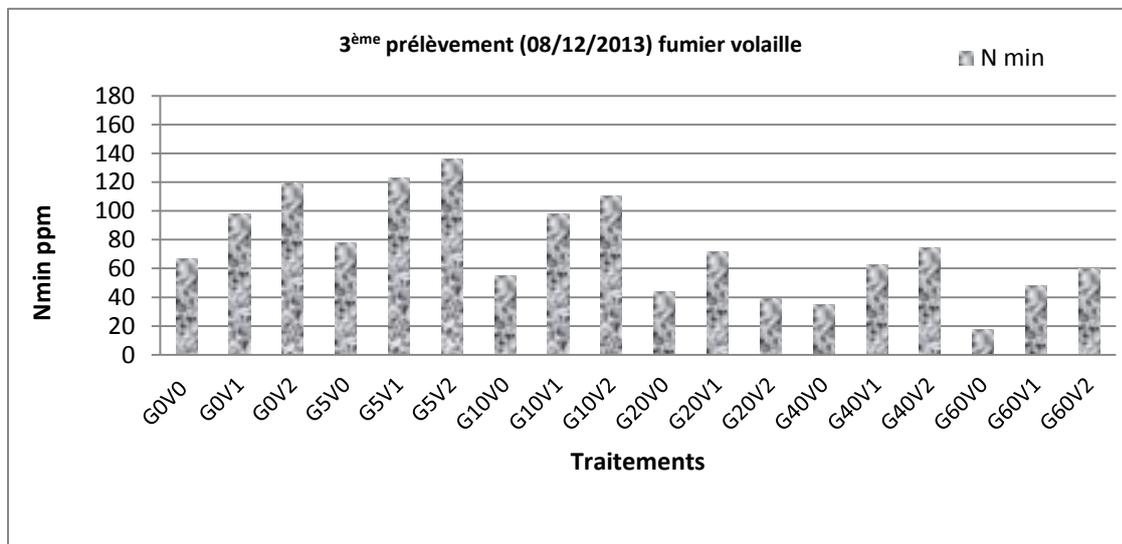


Figure 50: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du troisième prélèvement.

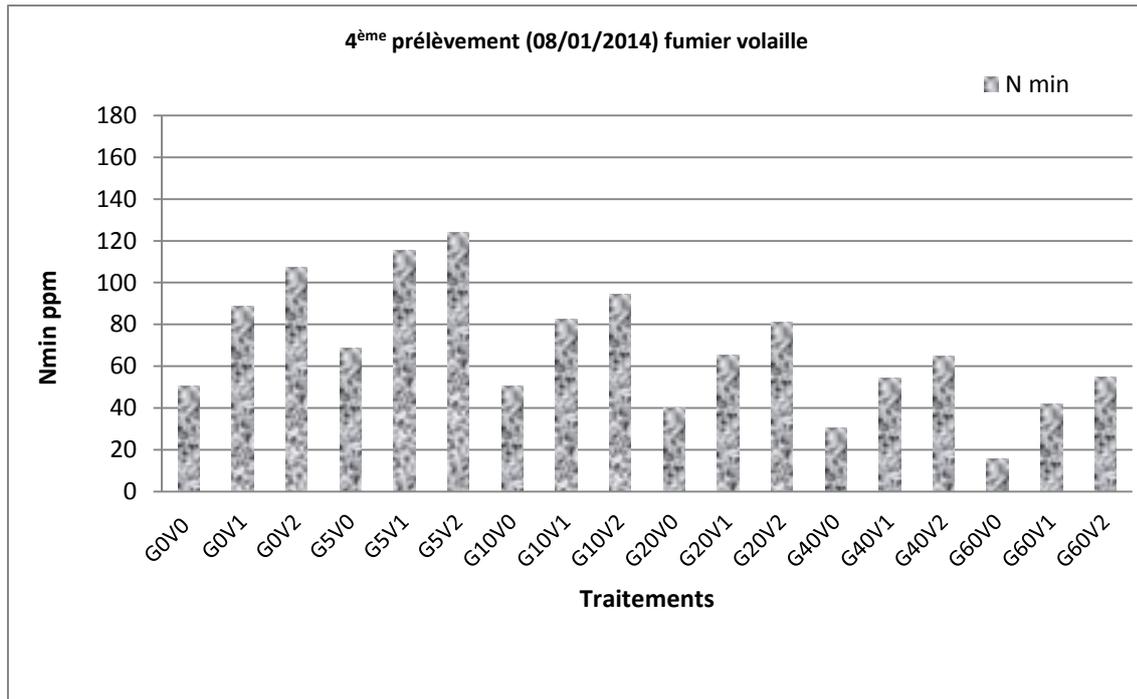


Figure 51: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du quatrième prélèvement.

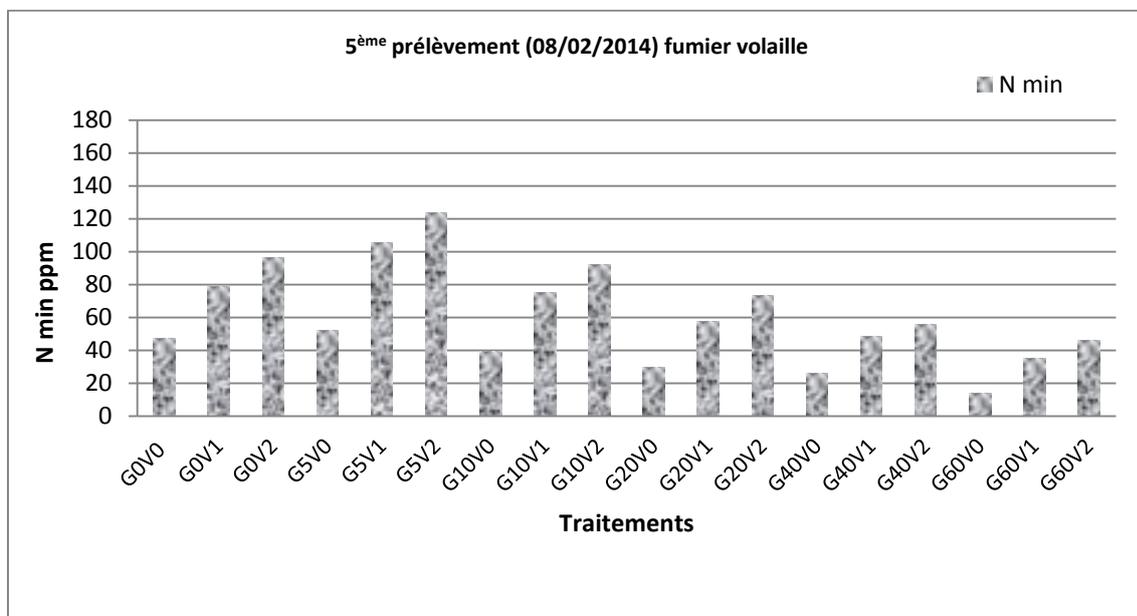


Figure 52: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence de fumier volaille du cinquième prélèvement.

IV.2.3.4. Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en présence de fumier ovin et volaille

L'examen des figures 53, 54, 55, 56 et 57, qui représente l'évolution de l'azote minéral dans un sol semé par le ray grass en présence des deux types de fumier, montre que la minéralisation de l'azote est élevée dans le sol qui contient un faible pourcentage en gypse (5%) et qu'elle diminue avec l'augmentation de ce taux à partir de 5%. Aussi, nous remarquons une bonne minéralisation dans le sol qui contient le fumier volaille que le sol qui contient le fumier ovin. La dose V₂ a enregistré une meilleure minéralisation que la dose V₁. Ensuite, elles sont suivies par la dose D₂ puis D₁ par rapport au témoin. Ceci est peut être expliqué par la richesse du fumier volaille en azote que le fumier ovin. Ces résultats sont confirmés par l'analyse statistique (tableau 19 et 20).

Il a été démontré que l'efficacité fertilisante de l'azote dépend de la teneur en cet élément de l'amendement ou engrais apporté (N'Dayegamiye et al, 2004). La minéralisation de l'azote des amendements organiques est en relation avec la nature de l'amendement et sa richesse en azote (Jedidi et al, 1995). Plus le rapport C/N d'un amendement organique est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol et, par conséquent, plus le processus de minéralisation de N organique est lent (Kende, 2010). Janssen (1996) a trouvé une relation linéaire négative entre la quantité d'N organique minéralisable et le rapport C/N du sol.

D'autre part, Choudhary et al (2007) ont signalé que l'application du gypse avec d'irrigation par l'eau sodique réduit la minéralisation cumulative de l'azote à 56 jours dans les parcelles de riz amendé par la paille, mais elle augmente dans les parcelles amendées par le fumier vert, le fumier de ferme ou les parcelles non amendées.

En outre, une bonne minéralisation de l'azote organique est enregistrée avec le traitement G₅V₂ (annexe 07).

Tableau 19: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du gypse sur l'azote minéral.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
5%	112,606	A
0%	93,09	B
10%	82,923	C
20%	65,715	D
40%	55,089	E
60%	39,830	F

Tableau 20: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du fumier sur l'azote minéral.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V ₂	97,414	A
V ₁	83,044	B
D ₂	77,954	C
D ₁	66,769	D
D ₀	49,197	E
V ₀	49,197	E

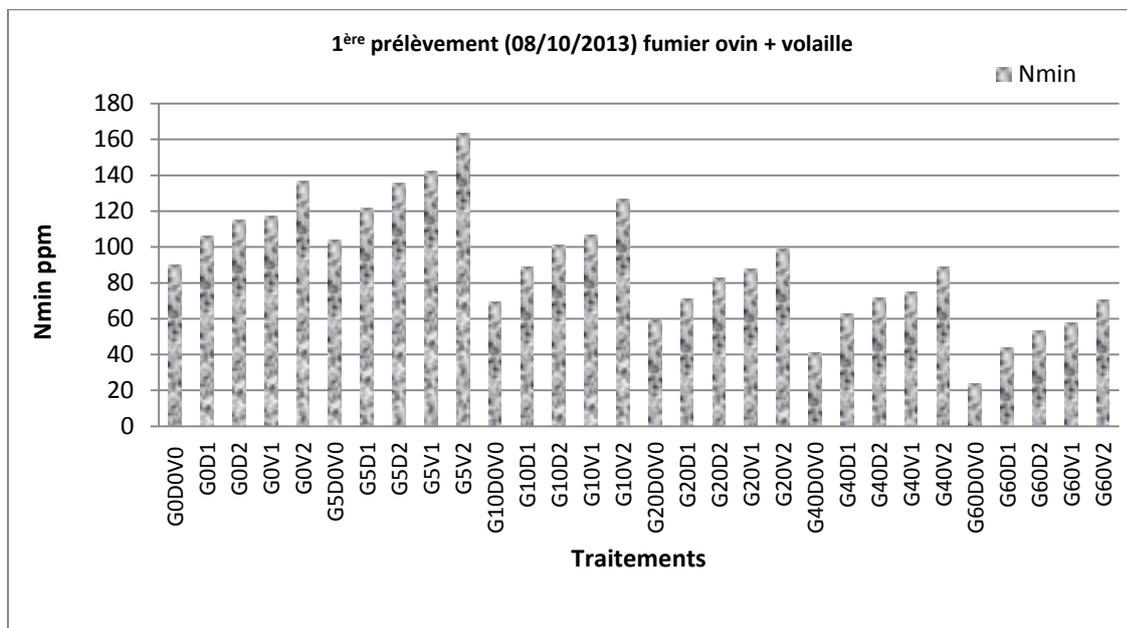


Figure 53: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du premier prélèvement.

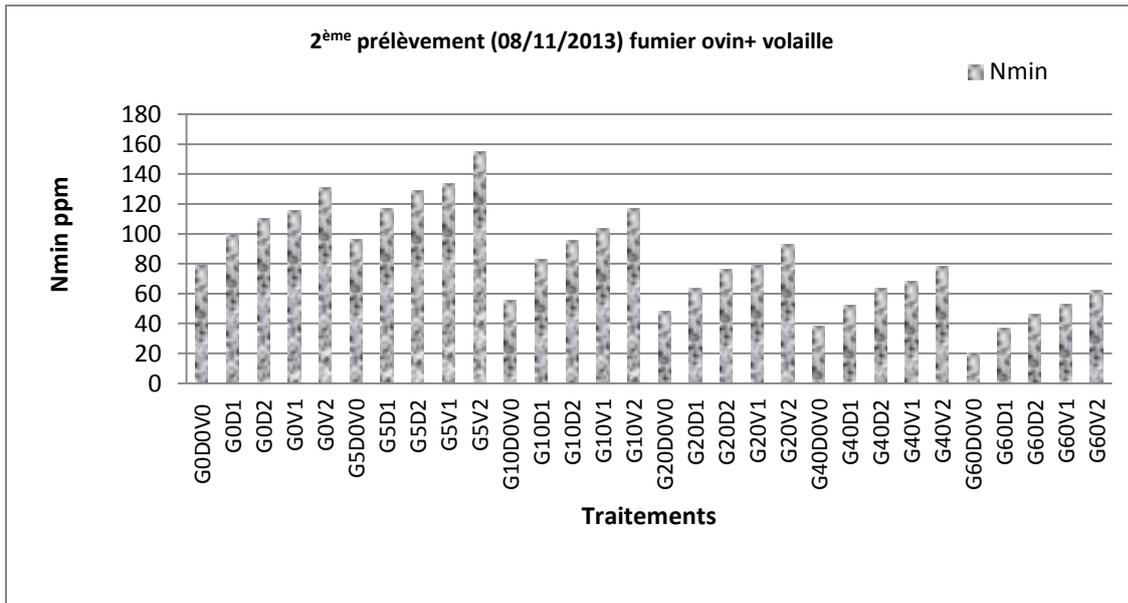


Figure 54: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du deuxième prélèvement.

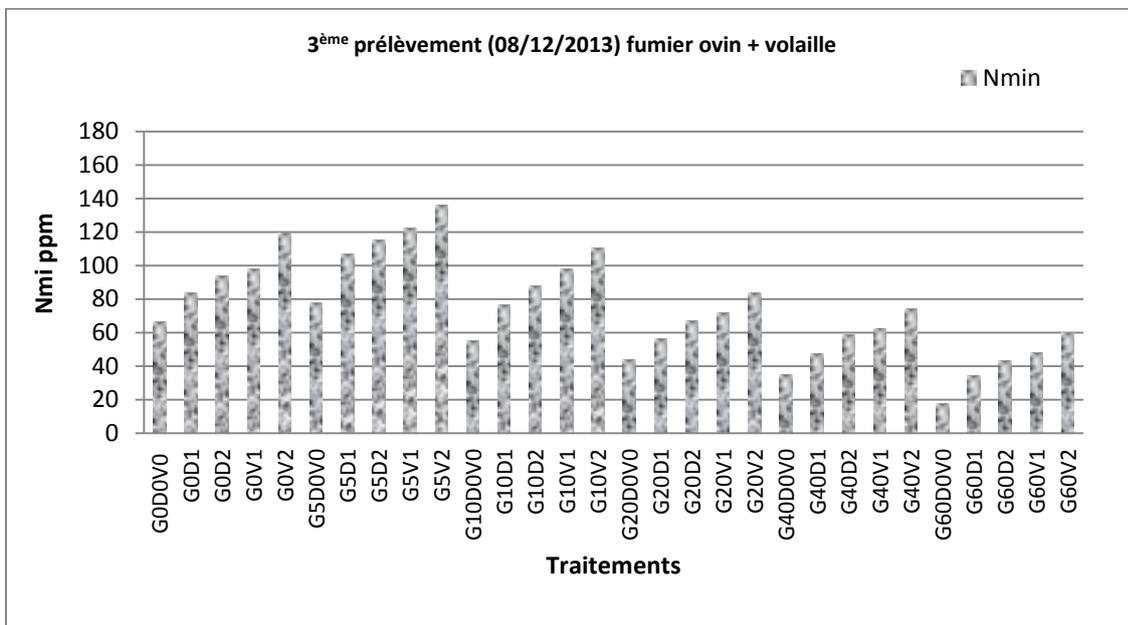


Figure 55: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du troisième prélèvement.

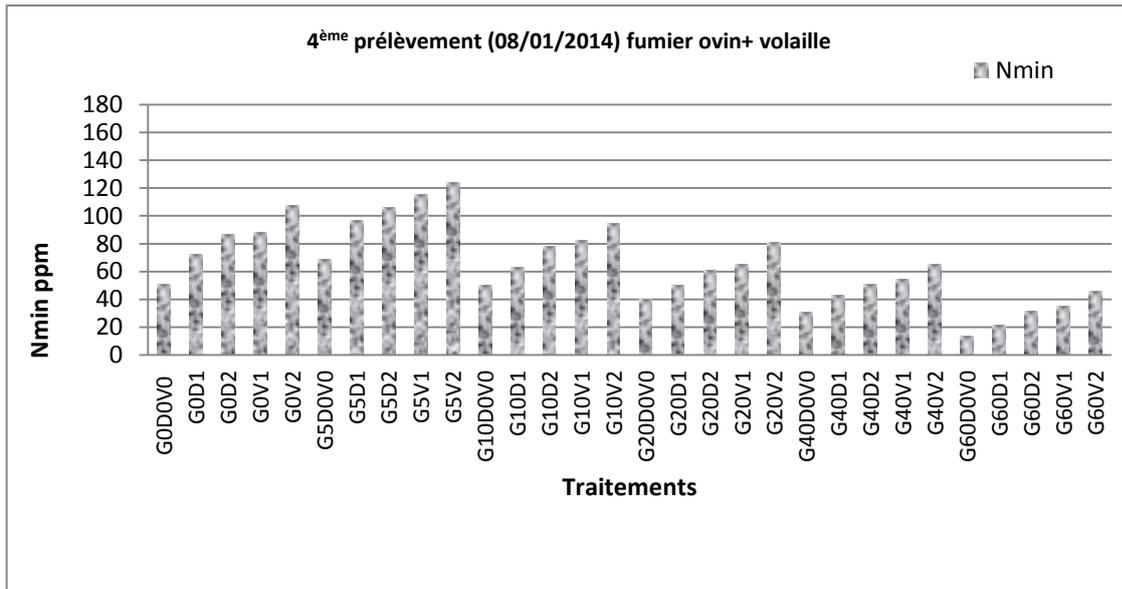


Figure 56: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du quatrième prélèvement.

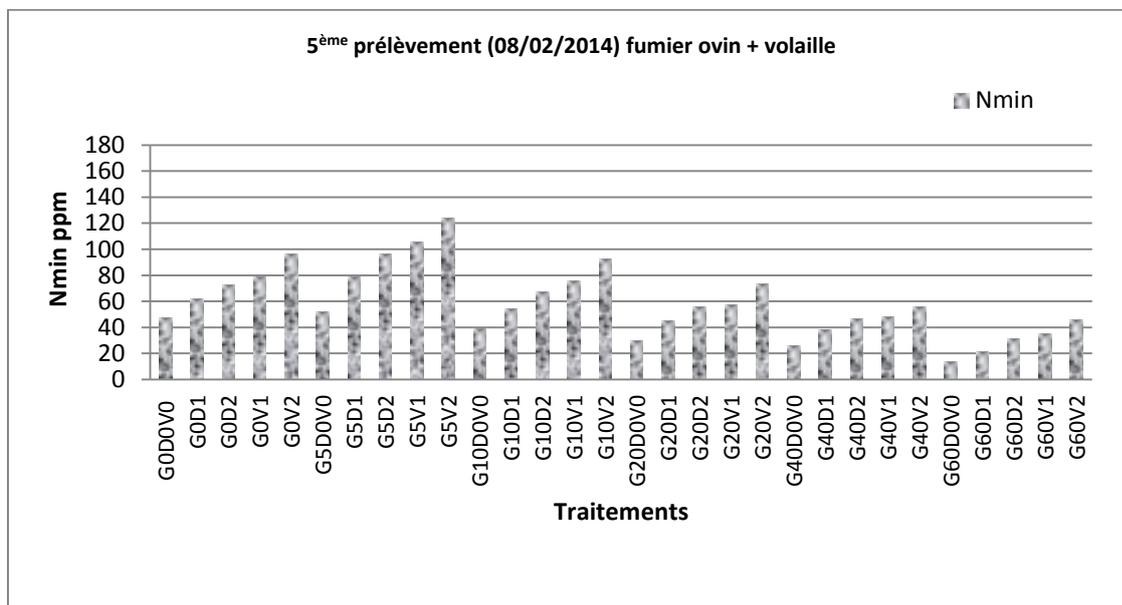


Figure 57: Evolution de l'azote minéral sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier du cinquième prélèvement.

IV.3. Effet du gypse sur la cinétique de croissance du ray grass en présence et en absence de fumier

IV.3.1. Effet du gypse sur l'évolution de la biomasse sèche aérienne en présence et en absence de fumier

IV.3.1.1. Effet du gypse sur l'évolution de la quantité de la biomasse sèche aérienne en absence de fumier

D'après la figure 58 qui représente l'évolution de la quantité de la biomasse aérienne en fonction du taux de gypse en absence de fumier ; le poids le plus élevé en matière sèche aérienne est enregistré avec le taux 5% de gypse alors que le plus faible de cette matière est enregistré avec le taux 60% en gypse. L'augmentation du taux de gypse au – delà de 5% provoque la diminution de la matière sèche aérienne. Le coefficient de corrélation entre le taux de gypse et la quantité produite en matière sèche aérienne est négatif et élevé ($r = - 0,73$).

Les quantités enregistrées avec les doses 10, 20, 40 et 60% sont toutes inférieures à la quantité produite par le système témoin qui ne contient pas du gypse. Cette réduction dans le poids de la matière sèche est peut être due à une mauvaise nutrition de la plante sous l'effet des doses croissante du gypse. Le calcium et les sulfates libérés par le gypse sont indispensables à la nutrition et la croissance des plantes mais leur présence avec des taux élevés provoque l'augmentation de la pression osmotique et conduit à une diminution dans le prélèvement des autres ions.

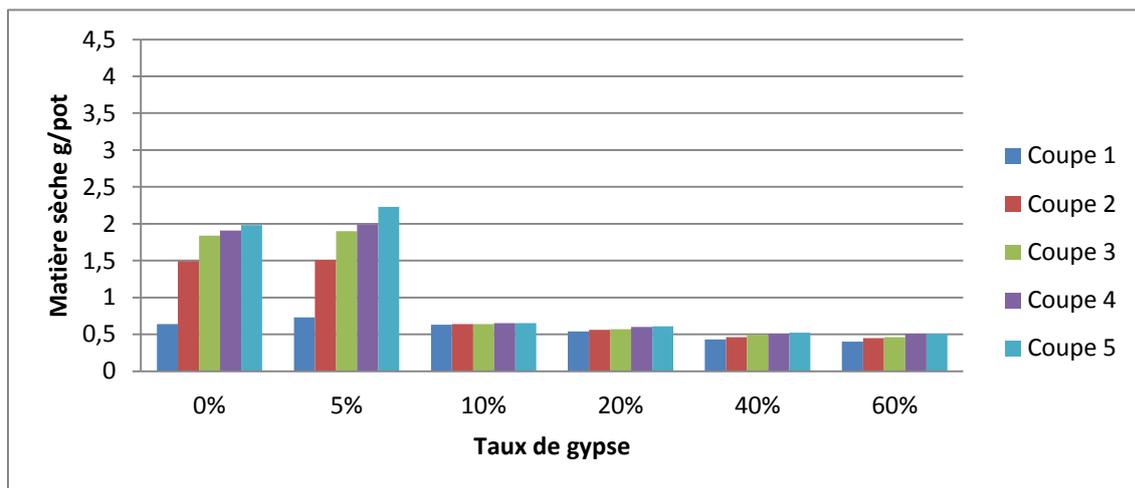


Figure 58: Evolution de la biomasse sèche aérienne en fonction du taux de gypse.

IV.3.1.2. Effet du gypse et du fumier ovin sur l'évolution de la biomasse sèche aérienne

Nous remarquons d'après les figures 59, 60, 61, 62 et 63, que le taux de la matière sèche de la biomasse aérienne est élevé pour la dose 5% de gypse et ce taux diminua avec l'augmentation du pourcentage de ce dernier allant de 5% jusqu'à 60% de gypse par rapport au témoin ($r = -0,70$).

Pour l'effet de la dose du fumier sur le taux de matière sèche de la biomasse aérienne, les résultats enregistrés montrent que le taux de la matière sèche aérienne le plus élevé est enregistré avec la dose D₂ suivie par la dose D₁ par rapport au témoin. L'augmentation de la dose de fumier ovin provoque une augmentation de la quantité de la matière sèche aérienne. Leur taux de corrélation est de ($r = 0,97$).

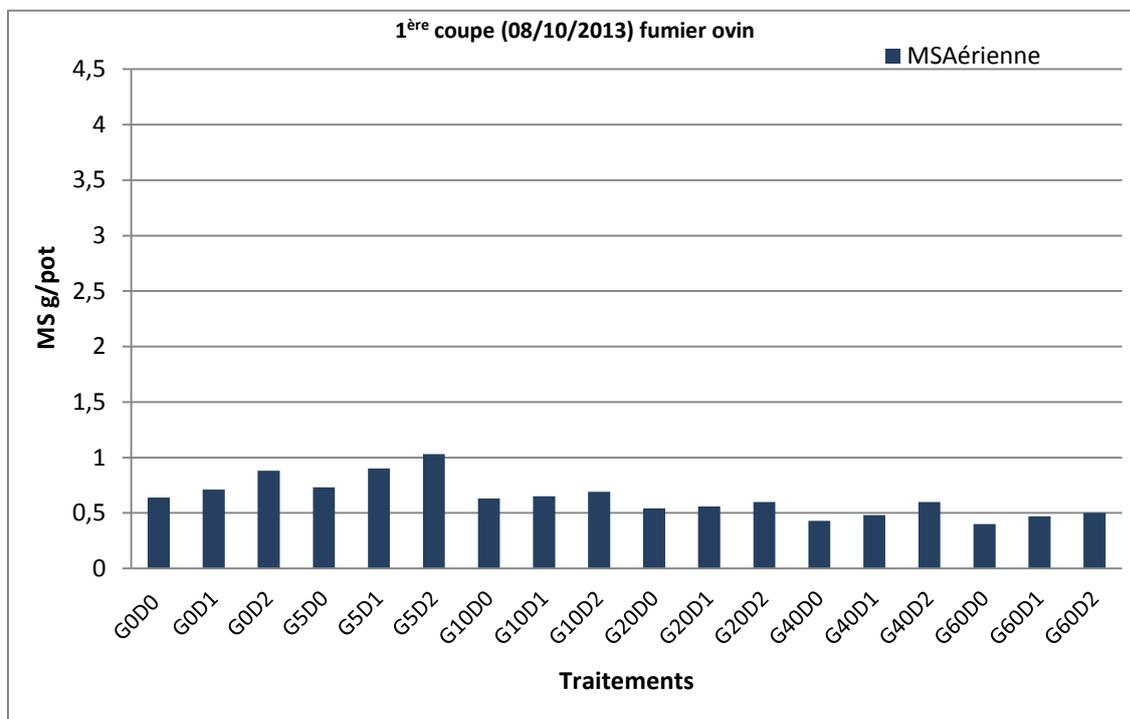


Figure 59: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la première coupe.

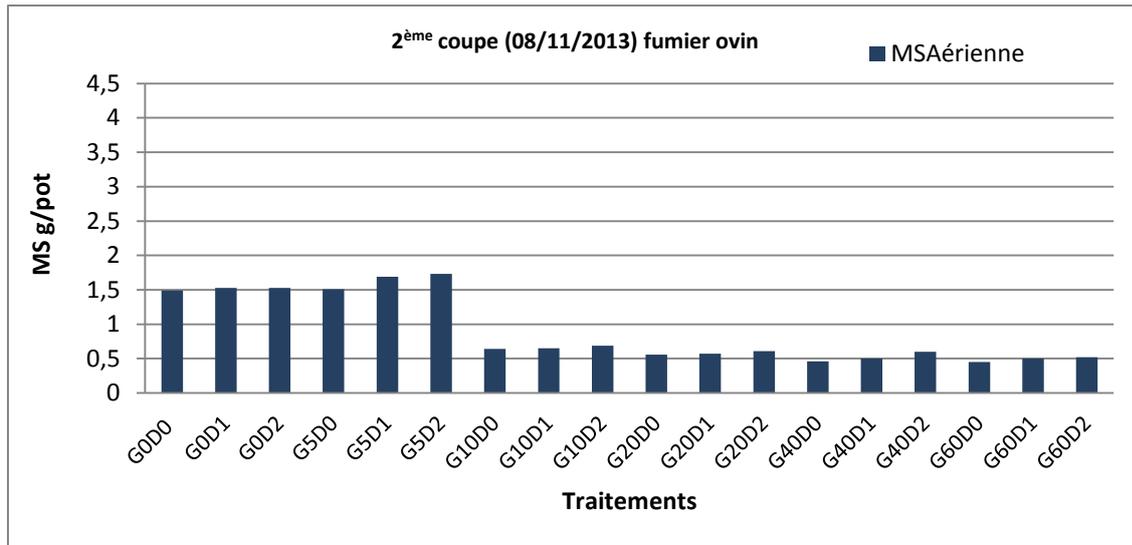


Figure 60: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la deuxième coupe.

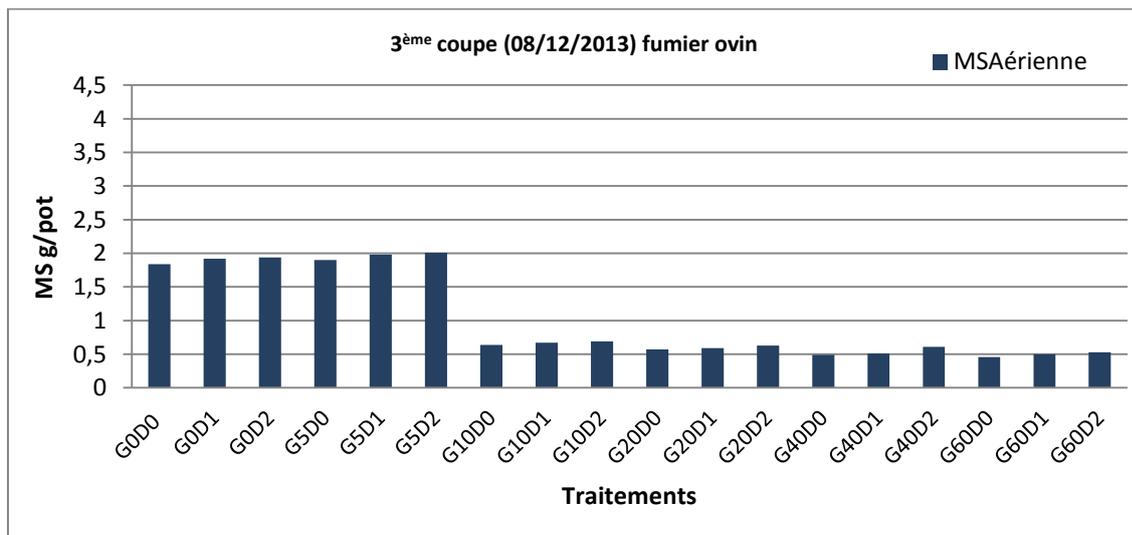


Figure 61: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la troisième coupe.

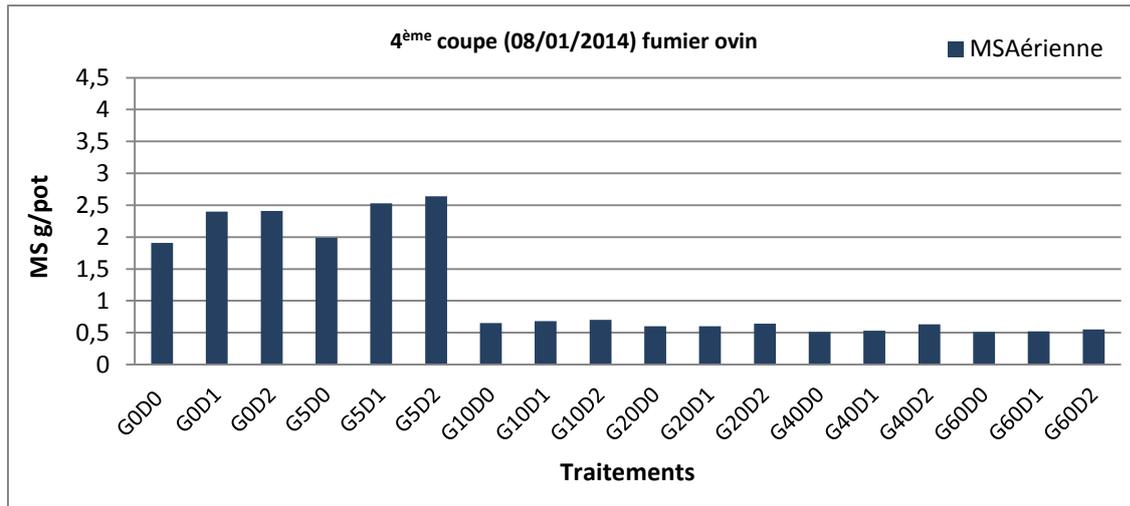


Figure 62: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la quatrième coupe.

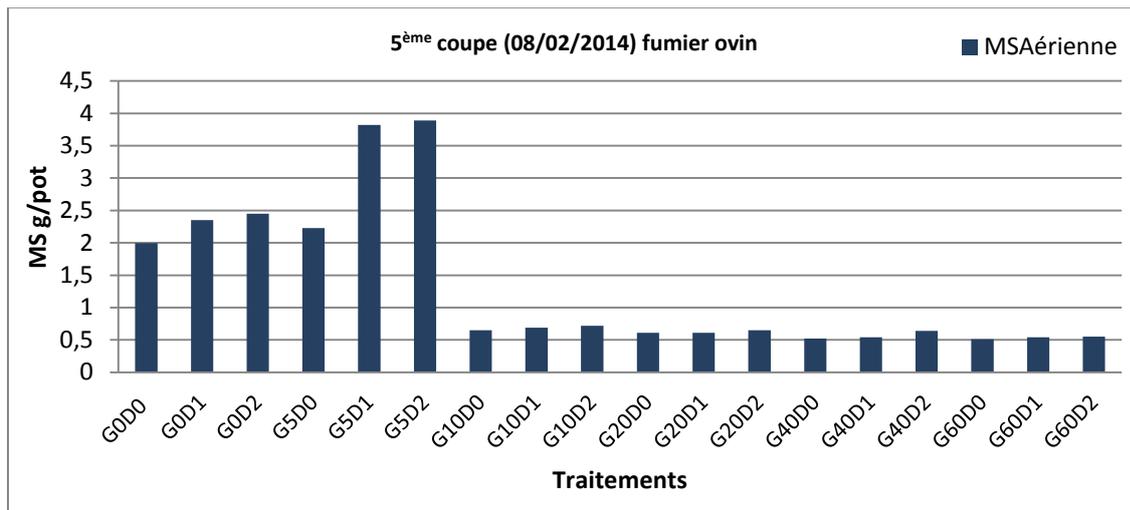


Figure 63: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse et de la dose de fumier ovin de la cinquième coupe.

IV.3.1.3. Effet du gypse et du fumier volaille sur l'évolution de la biomasse sèche aérienne

Pour ce qui est de l'effet de la dose du fumier volaille sur la production de la matière sèche aérienne (figure 64, 65, 66, 67 et 68), la dose V_2 a enregistré le taux le plus élevé en matière sèche aérienne par rapport aux autres doses. De son côté, la dose V_1 a enregistré une quantité de matière sèche aérienne supérieure à celle enregistrée par le témoin (V_0). Ainsi on peut conclure que la production de la matière sèche aérienne augmente avec l'augmentation de la

dose du fumier volaille. L'étude statistique a montré une corrélation forte et positive entre ces deux derniers ($r = 0,92$).

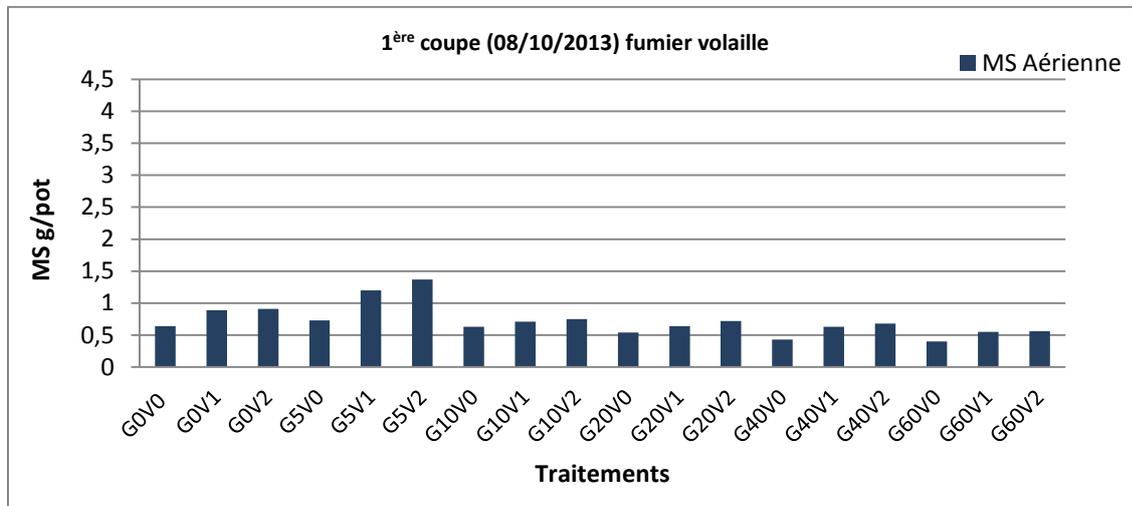


Figure 64: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la première coupe.

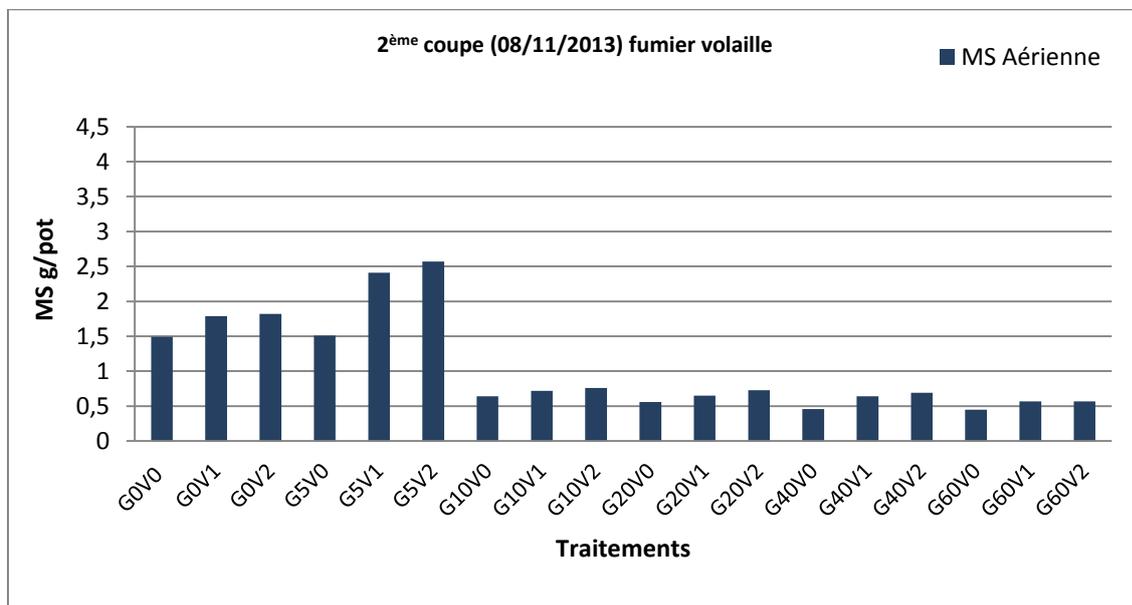


Figure 65: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la deuxième coupe.

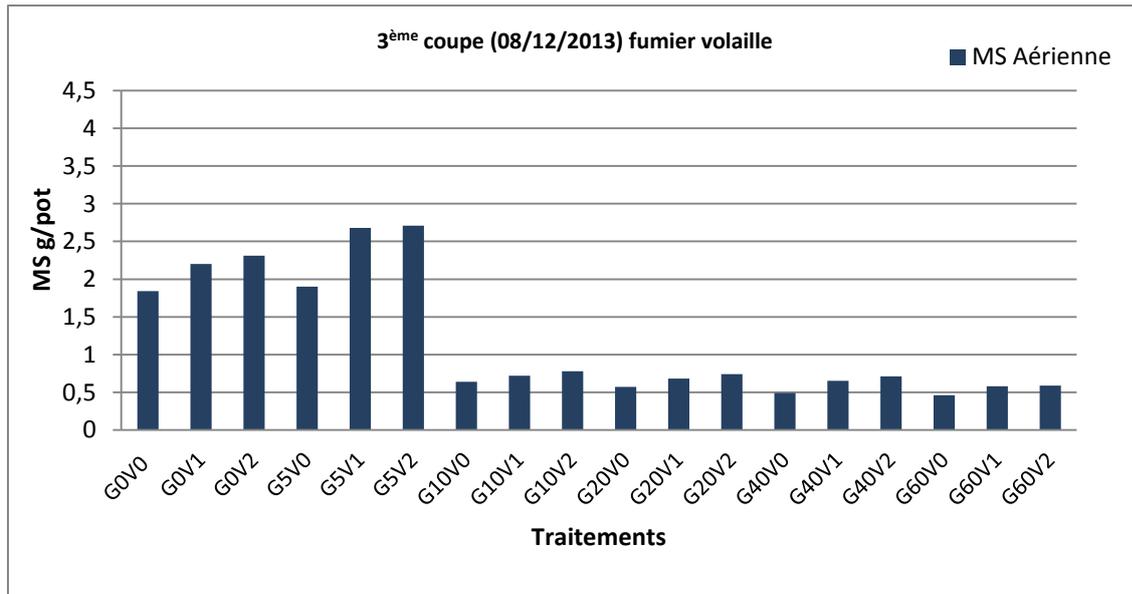


Figure 66: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la troisième coupe.

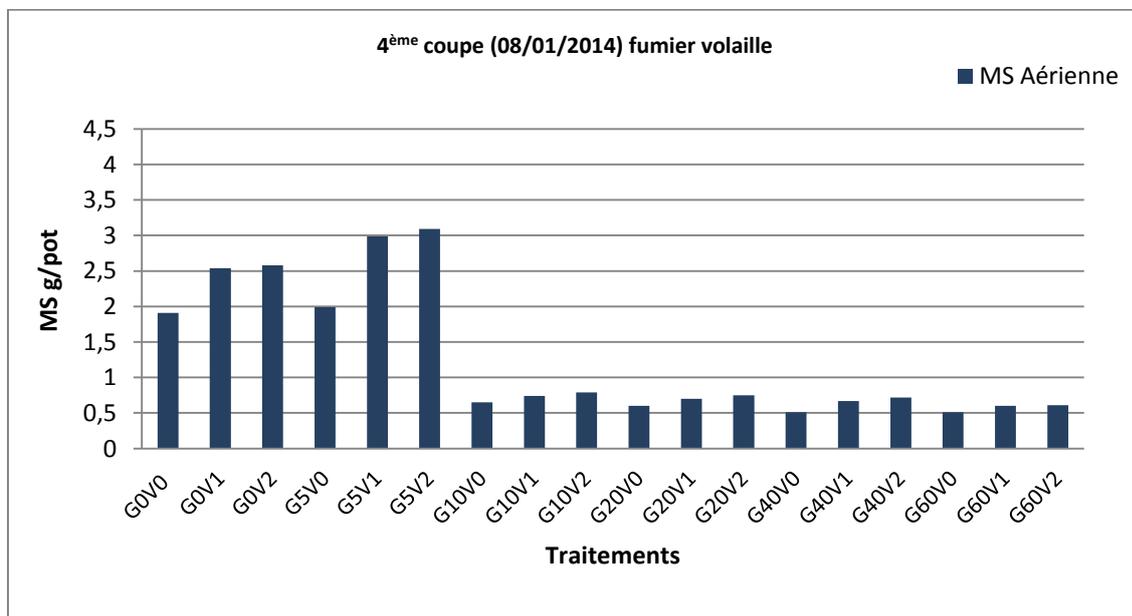


Figure 67: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la quatrième coupe.

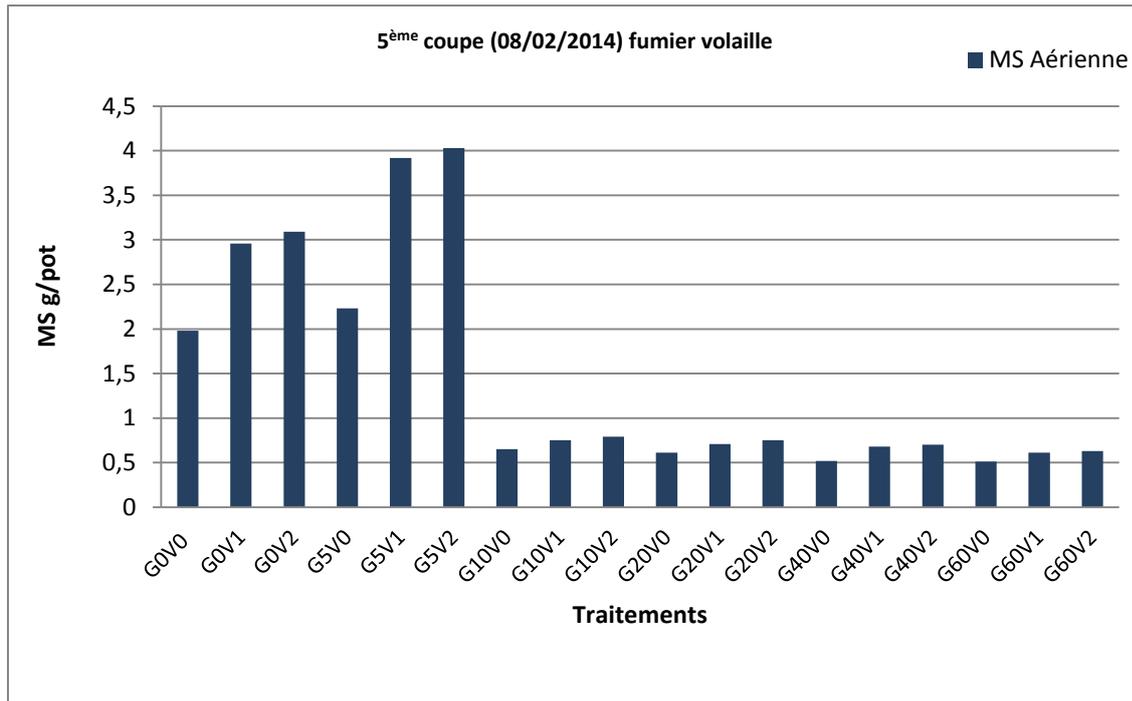


Figure 68: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en présence de fumier volaille de la cinquième coupe.

En plus, l'augmentation du taux de gypse diminue la quantité de la matière sèche aérienne et ceci pour les doses 10, 20, 40 et 60% de gypse ($r = -0,69$). Par contre, la faible dose en gypse (5%) augmente la matière sèche aérienne. La dose 0% de gypse vient en deuxième position en matière sèche après la dose 5% en gypse (figure 34 et 35).

IV.3.1.4. Effet du gypse et le type et la dose de fumier sur le rendement en matière sèche de la biomasse aérienne

Nous remarquons d'après les figures 69, 70, 71, 72 et 73, que la présence du gypse avec un faible taux (5%) a amélioré la production de la matière sèche aérienne, mais leur augmentation au-delà de 5% provoque la diminution de cette dernière. L'analyse statistique (tableau 21) montre que le taux 5% en gypse a donné un meilleur rendement en matière sèche de la biomasse aérienne par rapport aux autres doses.

Silva et al (2002), ont noté une augmentation linéaire du rendement en fruit de la tomate dans les sols à faible taux de gypse avec un apport d'engrais azoté, puis une diminution linéaire de la matière sèche aérienne (feuilles et fruits) suite à l'augmentation du taux de gypse à partir de 22% de gypse.

Comparativement au fumier ovin, la dose V₂ du fumier volaille a enregistré la quantité la plus élevée en matière sèche aérienne. L'analyse statistique confirme que la dose V₂ a donné le meilleur rendement en matière sèche aérienne alors que la dose D₁ donne un rendement faible par rapport au témoin (tableau 22). Ceci s'explique par la richesse de la dose V₂ en matière organique et sa minéralisation qui libère plus d'azote et d'éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante que les autres doses. En outre, le fumier volaille ayant un rapport C/N faible avec 13,61 ; se décompose plus rapidement que le fumier ovin qui possède un rapport C/N élevée (C/N = 21,06).

Aussi, le traitement G₅V₂ a enregistré le meilleur rendement en matière sèche aérienne (annexe 08).

Tableau 21: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du gypse sur le rendement moyen en matière sèche aérienne.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
5%	2,302	A
0%	1,883	B
10%	0,702	C
20%	0,639	C
40%	0,593	C
60%	0,535	C

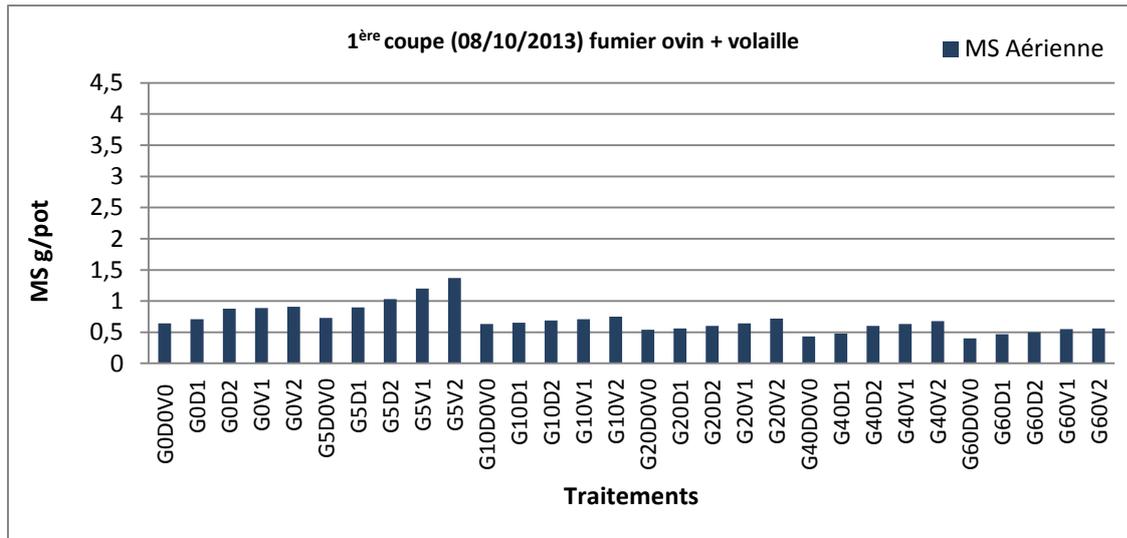


Figure 69: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la première coupe.

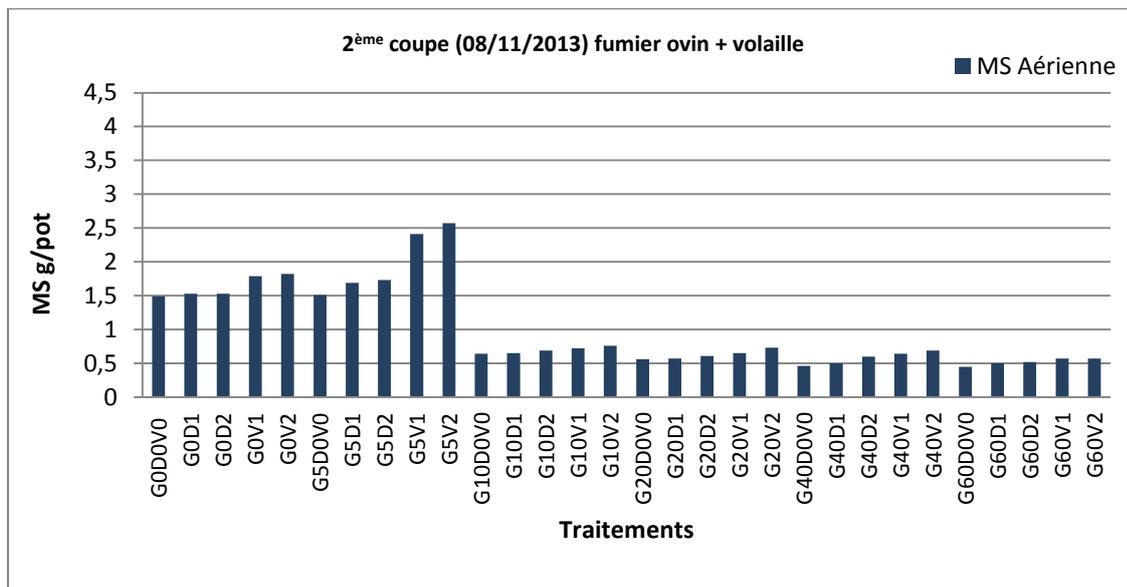


Figure 70: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la deuxième coupe.

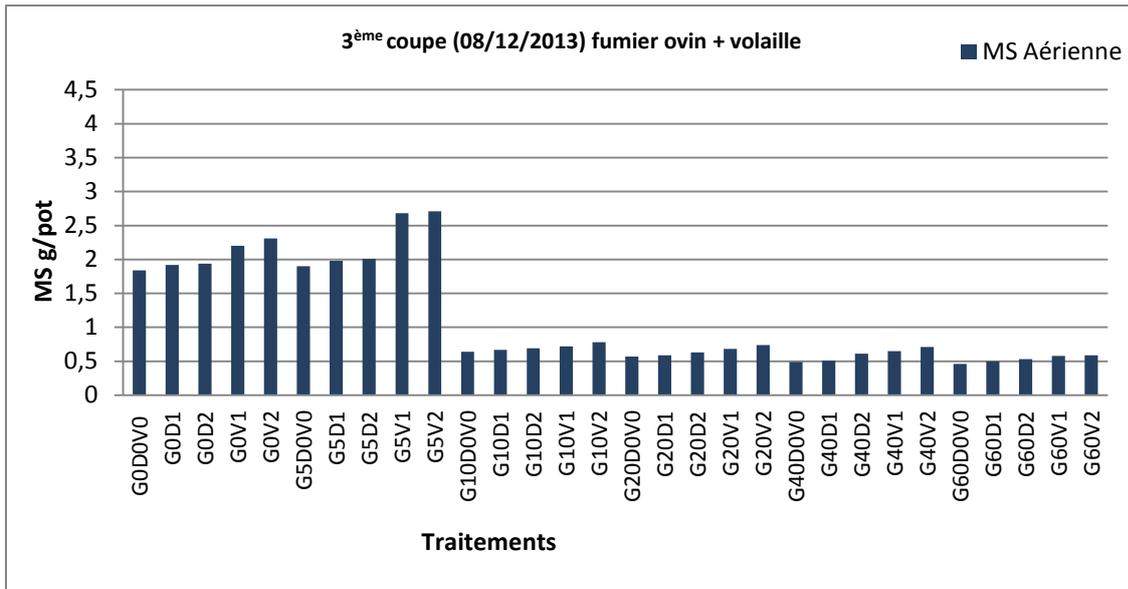


Figure 71: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la troisième coupe.

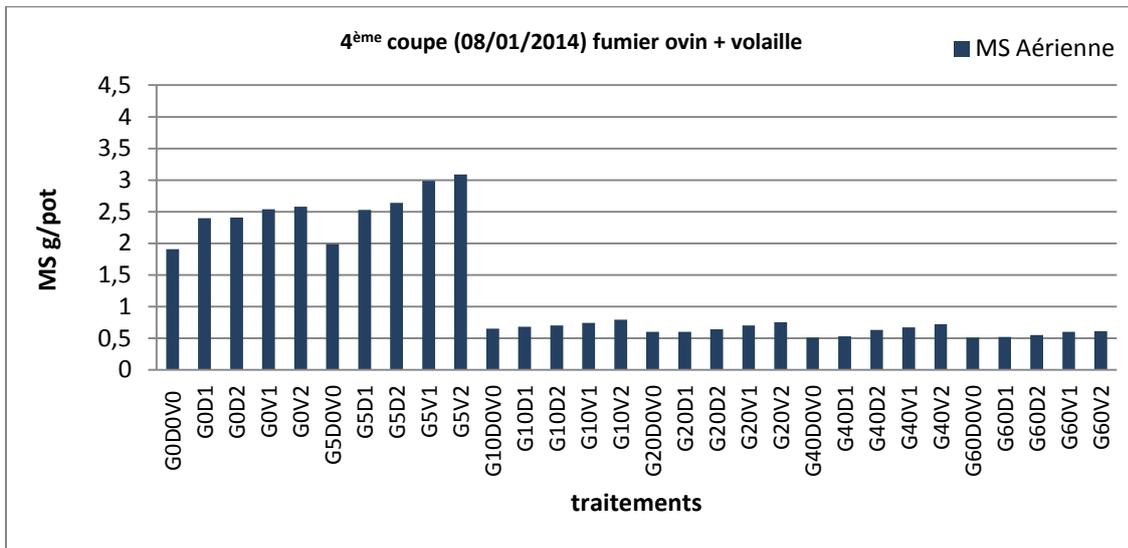


Figure 72: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la quatrième coupe.

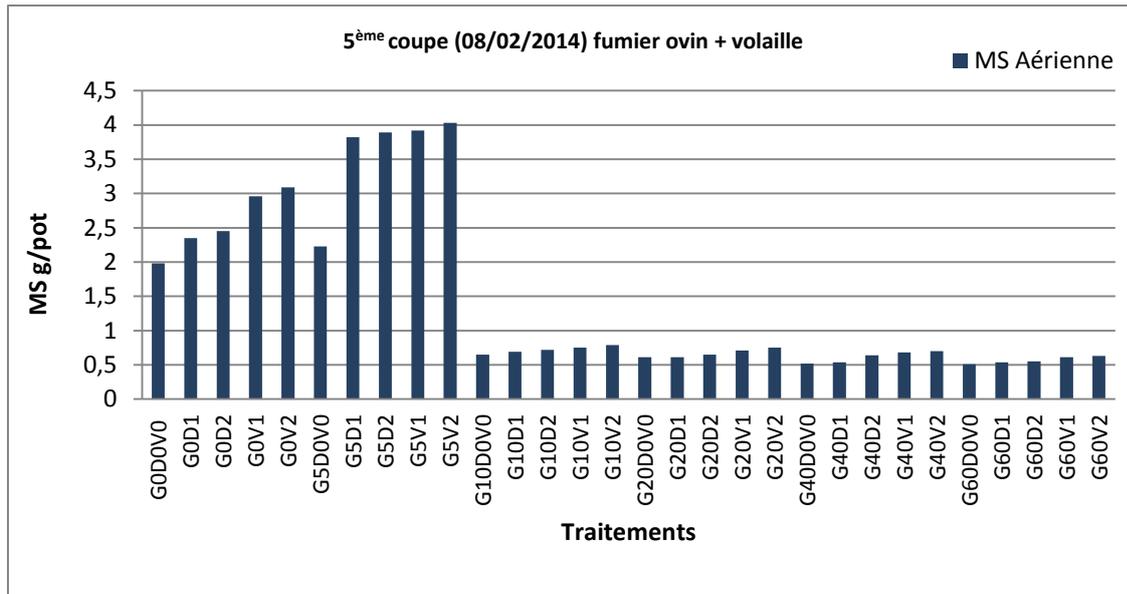


Figure 73: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence et en absence de fumier de la cinquième coupe.

Tableau 22: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l’effet du fumier sur le rendement moyen en matière sèche aérienne.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V ₂	1,283	A
V ₁	1,226	A B
D ₂	1,095	B C
D ₁	1,040	C
D ₀	0,901	D
V ₀	0,901	D

IV.3.2. Effet du gypse et du fumier sur le taux de la matière sèche racinaire du ray grass

L'évolution de la matière sèche de la biomasse racinaire en fonction du taux de gypse et sous l'effet de deux types d'amendements, un fumier ovin et un fumier volaille (figure 47), montre que le meilleur rendement en matière sèche racinaire est enregistré avec une dose 5% de gypse. La dose 0% de gypse vient en deuxième position. Les faibles rendements en matière sèche de la biomasse racinaire sont enregistrés avec les taux 10, 20, 40 et 60%. Le coefficient

de corrélation entre le taux de gypse et le rendement en matière sèche racinaire est négatif et fortement corrélé ($r = - 0,99$). La dissolution des taux élevés en gypse, augmente la pression osmotique dans la solution du sol, et inhibe la plante d'absorber l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leur développement.

Les meilleurs rendements en matière sèche de la biomasse racinaire sont enregistrés pour le fumier volaille avec la dose V_2 suivie par la dose V_1 devant ceux obtenus par l'utilisation du fumier ovin avec toutes les doses de gypse. Et que le meilleur rendement en matière sèche racinaire est enregistré avec le traitement G_5V_2 (annexe 09).

Notre expérience nous a permis de constater, pour le fumier ovin que la production de la matière sèche racinaire avec la dose D_2 , est supérieure à celle produite par la dose D_1 . Cette dernière est supérieure à la quantité produite par le témoin (dose D_0, V_0). Les rendements en matière sèche racinaire sont fortement corrélés avec la dose du fumier ($r = 0,84$), ce qui indique que l'augmentation de la dose de fumier engendre une augmentation des rendements de la biomasse racinaire. Les mêmes résultats sont enregistrés pour le fumier volaille.

Dans les sols gypseux en Irak, qui ont de plus petits teneurs en matière organique, un taux de gypse entre 10-25% ; limite le développement des racines, mais lorsque ce teneur est supérieure à 25% dans la zone racinaire, la croissance est faible (Smith et Robertson, 1962).

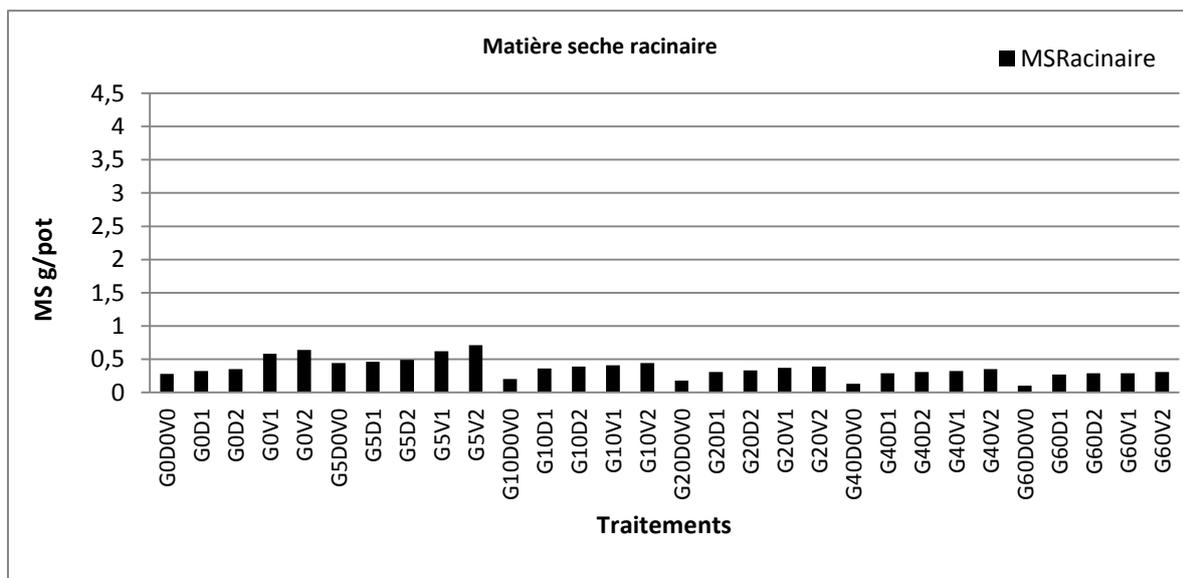


Figure 74: Effet du gypse sur le poids de la matière sèche racinaire.

IV.3.3. Effet du gypse et du fumier sur le taux de la matière sèche totale (aérienne et racinaire) du ray grass

Nous remarquons d'après la figure 75 que le poids de la matière sèche totale le plus élevé est enregistré avec la dose 5% de gypse ; il varie entre 8,8 et 14,48 g/pot. L'augmentation du taux de gypse à partir de 5% provoque la diminution du poids de la matière sèche totale ($r = -0,70$). La faible quantité en matière sèche totale est enregistrée avec la dose 60% de gypse ; elle oscille entre 2,43 et 3,27 g/pot.

Feldhake et *al* (2001), ont mentionné que la densité des racinaires a été affectée par la présence du gypse. Ce dernier peut induire des différences dans l'extraction d'eau et d'éléments minéraux par les plantes. Lorsque le fonctionnement hydrique et minéral des plantes est perturbé par le gypse, la croissance des parties aériennes et souterraines est ralentie.

Aussi, la présence excessive du gypse dans la zone active des racines, affecte la teneur et la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes qui représentent souvent un rendement réduit (Mashali, 1996).

En ce qui concerne l'effet du type et de la dose de fumier sur le poids de la matière sèche totale, nous remarquons que la dose V_2 a enregistré le poids le plus élevé en matière sèche totale ; elle varie entre 3,27 et 14,48 g/pot, suivie par la dose V_1 . Ensuite la dose D_2 et en dernier lieu la dose D_1 avec des taux variant entre 2,8 et 11,38 g/pot par rapport au témoin. Donc, le fumier volaille a enregistré les poids les plus élevés en matière sèche totale par rapport au fumier ovin. Et que l'augmentation de la dose du fumier provoque une augmentation du poids de la matière sèche totale ($r = 0,82$).

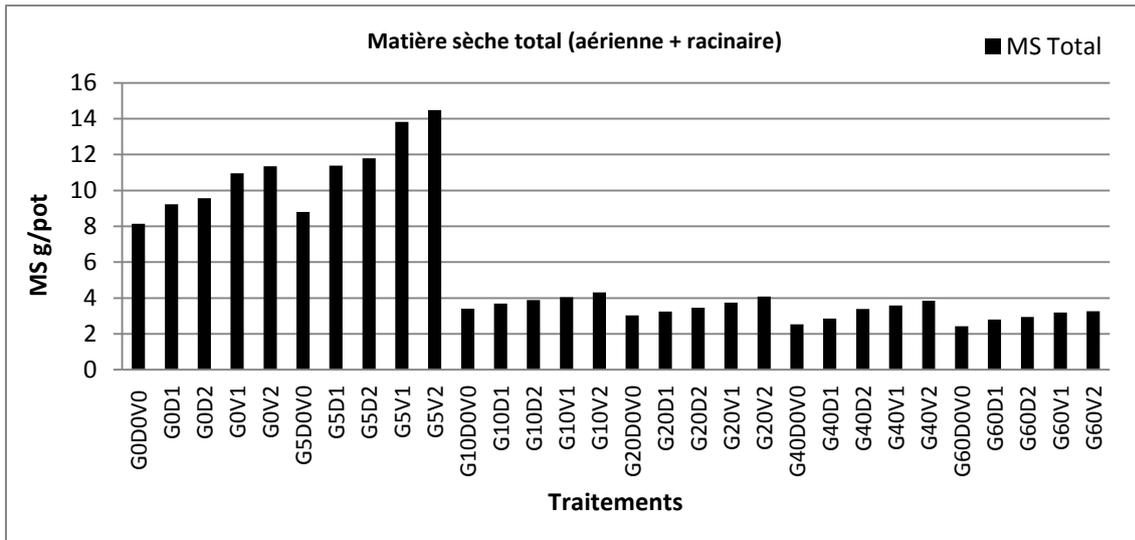


Figure 75: Effet du gypse sur le poids de la matière sèche total.

IV.3.4. Effet du gypse sur la vitesse de croissance du ray grass en présence et en absence de fumier

L'analyse des figures 76, 77, 78, 79 et 80 révèle que la vitesse de croissance du ray grass est élevée pour la dose 0 et 5% en gypse. Par contre les doses 10, 20, 40 et 60% ont enregistré une vitesse de croissance très faible sans et avec apport de fumier. L'analyse statistique affirme ce résultat (tableau 23).

Nous remarquons aussi une augmentation dans la vitesse de croissance au cours du temps surtout pour les doses 0 et 5% de gypse. La vitesse de croissance pour la dose 5% en gypse varie entre 24,33 et 134,33mg/j et entre 21,33 et 103mg/j pour la dose 0% en gypse.

Pour les doses 10, 20, 40 et 60% de gypse ; il y a un très faible accroissement dans la vitesse de croissance de la plante. La dose 60% en a enregistré la vitesse la plus faible ; elle varie entre 13,33 et 21mg/j.

La réduction de la croissance de la plante où le gypse est appliqué a été associée à des changements probables de l'activité microbienne et à l'immobilisation de l'azote (Cairns et al., 1981). Dans les sols sableux à haute teneur en gypse, jusqu'à 25-50%, toutes les cultures ont été touchées mais l'oignon et la luzerne ont donné de bons rendements (Mashali, 1996).

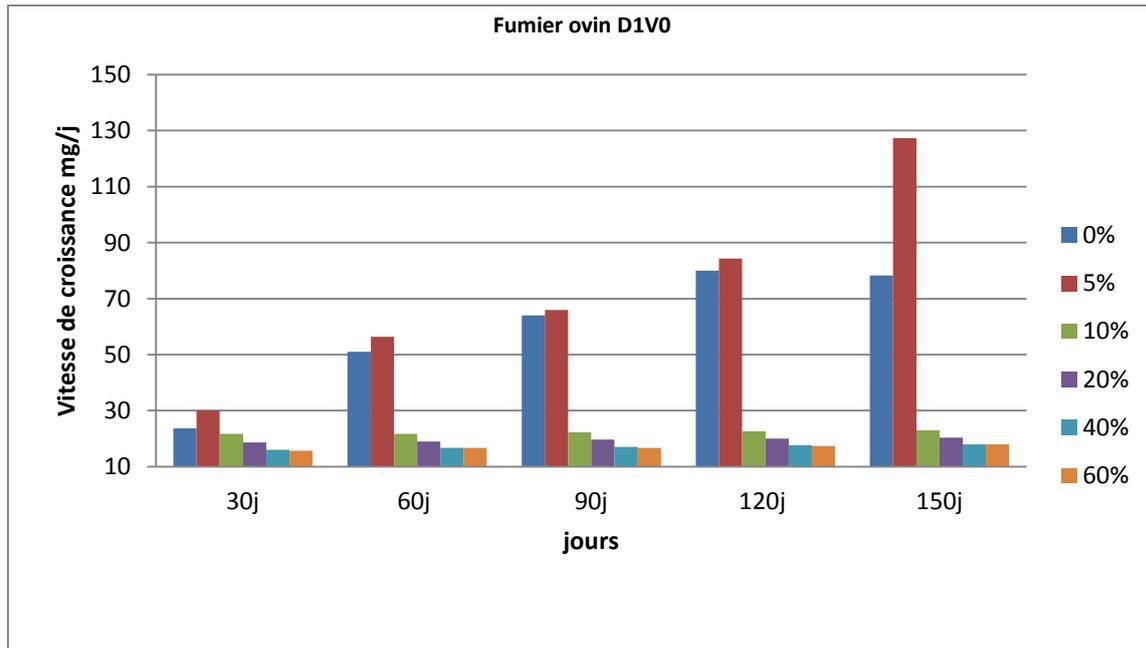


Figure 76 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D1V0.

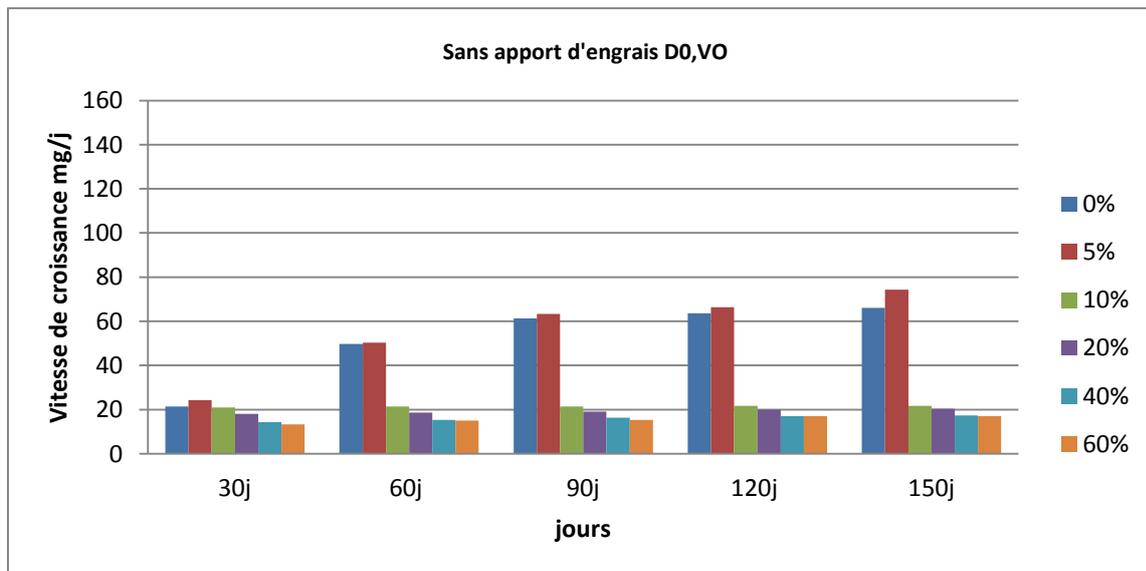


Figure 77 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D0V0.

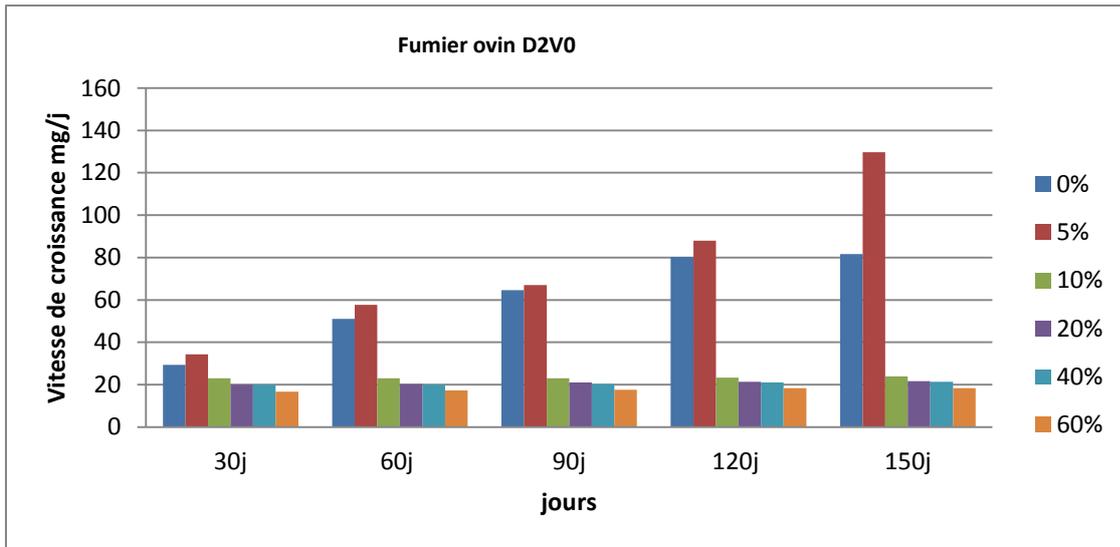


Figure 78 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D2V0.

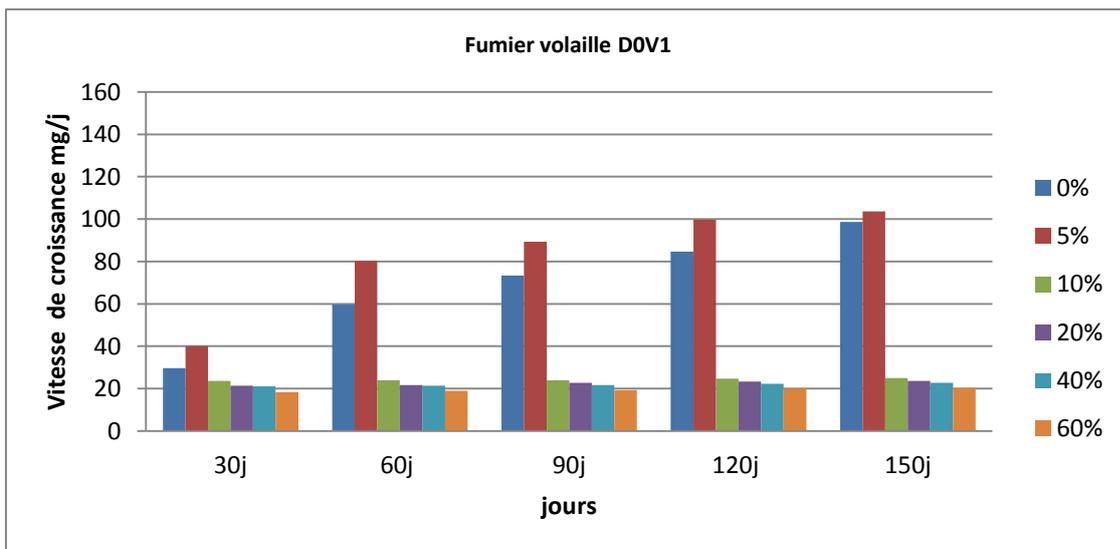


Figure 79 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D0V1.

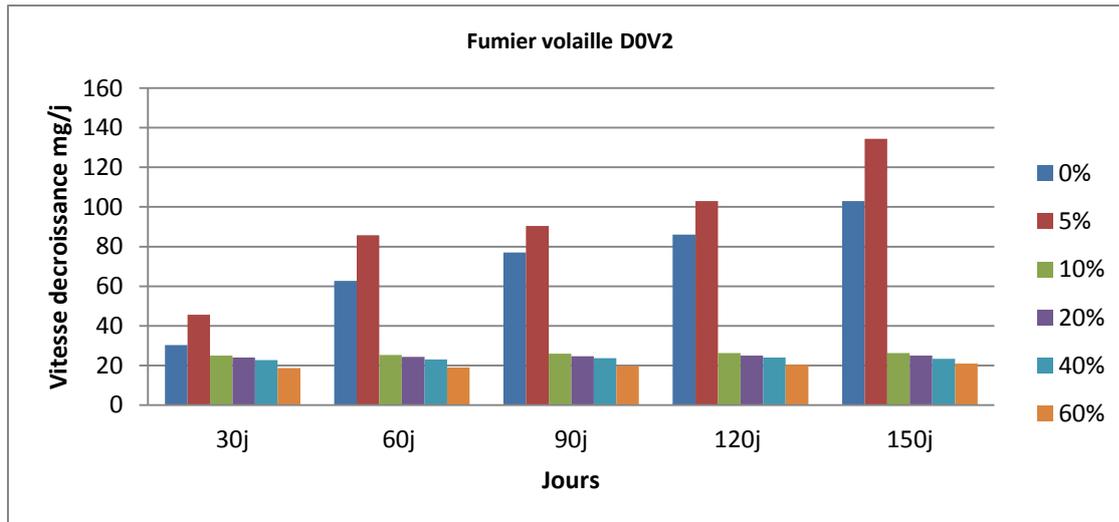


Figure 80 : Evolution de la vitesse de croissance du ray grass pour le traitement D0V2.

Tableau 23: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du gypse sur la vitesse de croissance du ray grass.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
5%	75,650	A
0%	62,836	B
10%	23,397	C
20%	21,344	C
40%	19,757	C
60%	17,837	C

En outre, nous remarquons que la vitesse de croissance du ray grass d'Italie la plus élevée est enregistrée avec la dose V₂ du fumier volaille, par contre la plus faible vitesse de croissance est enregistrée avec la dose D₁ par rapport au témoin (figure 81, 82, 83, 84 et 85). Ces résultats sont confirmés par l'analyse statistique (tableau 24). Le type et la dose de fumier peuvent influencer différemment sur la vitesse de croissance selon le pourcentage d'azote qu'il contient et selon sa vitesse de minéralisation. Donc la fertilisation des sols gypseux améliore la croissance des plantes et élève le rendement (Kovda, 1954).

En outre l'interaction entre la dose du gypse et la dose et le type de fumier a donné un bon résultat pour la vitesse de croissance avec la dose 5% en gypse en corrélation avec la dose V2 du fumier volaille (annexe 10).

Tableau 24: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du fumier sur la vitesse de croissance du ray grass.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V ₂	42,842	A
V ₁	39,963	A B
D ₂	36,508	A B
D ₁	34,652	A B
D ₀	30,053	B
V ₀	30,053	B

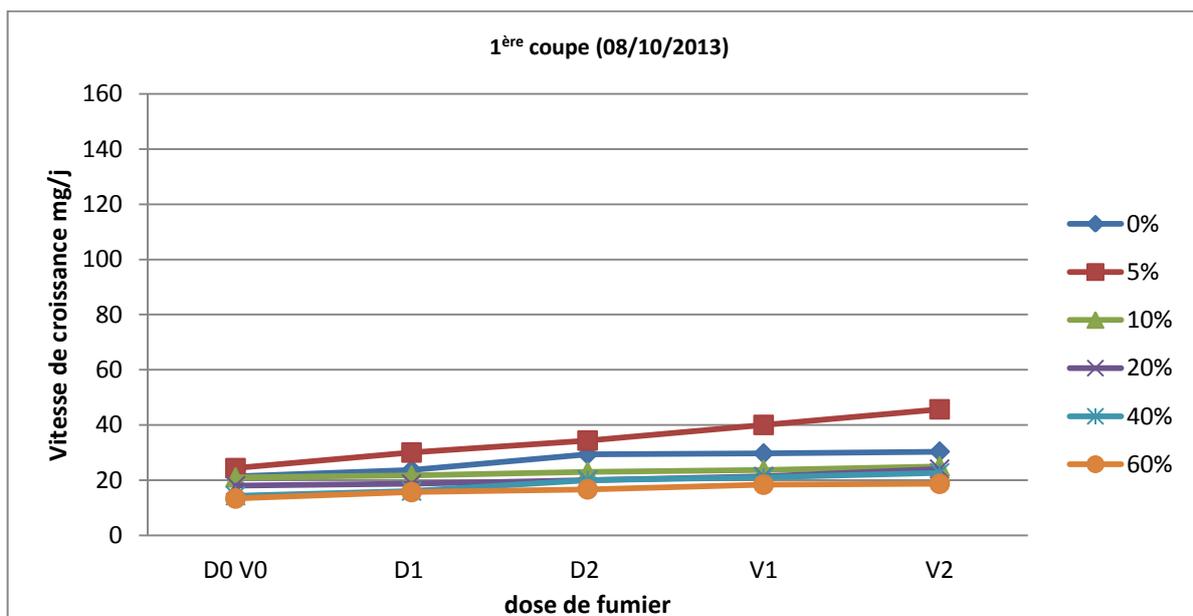


Figure 81: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la première coupe.

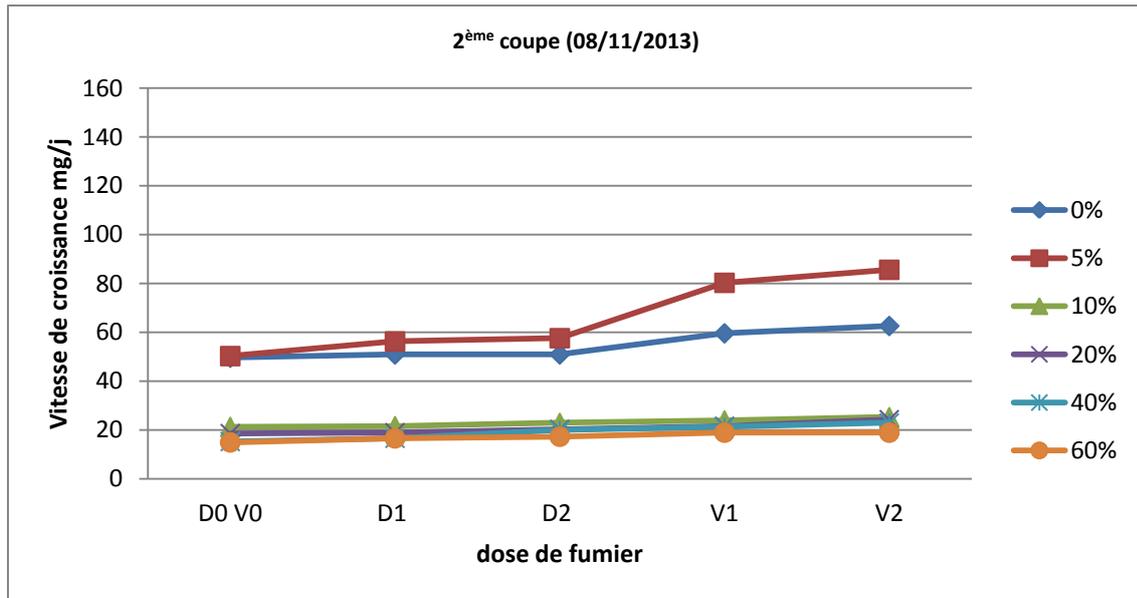


Figure 82: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la deuxième coupe.

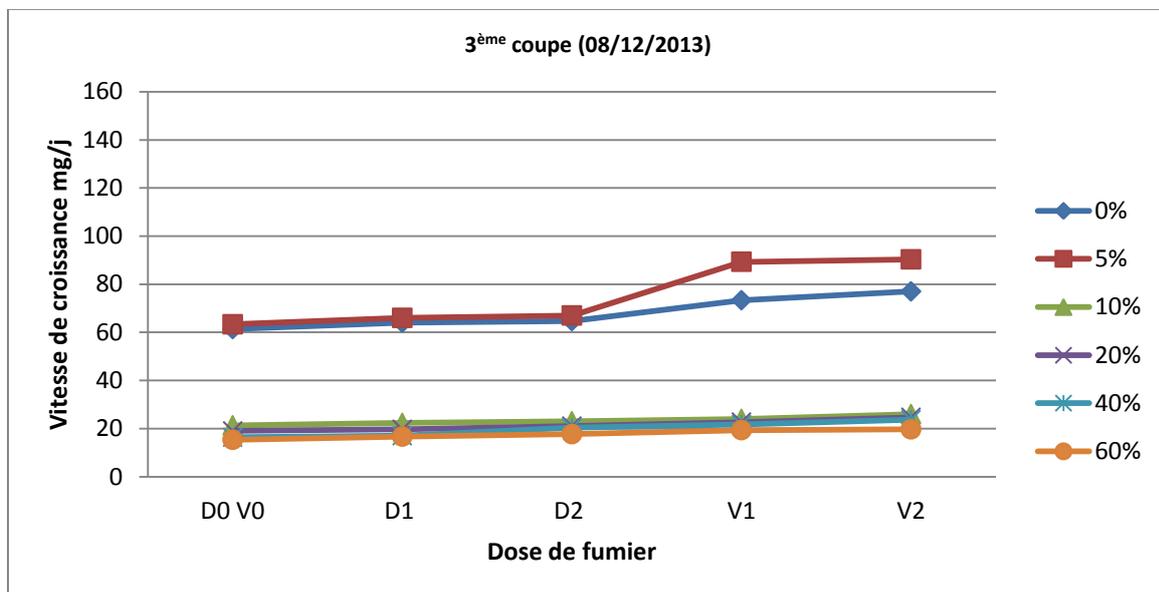


Figure 83: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la troisième coupe.

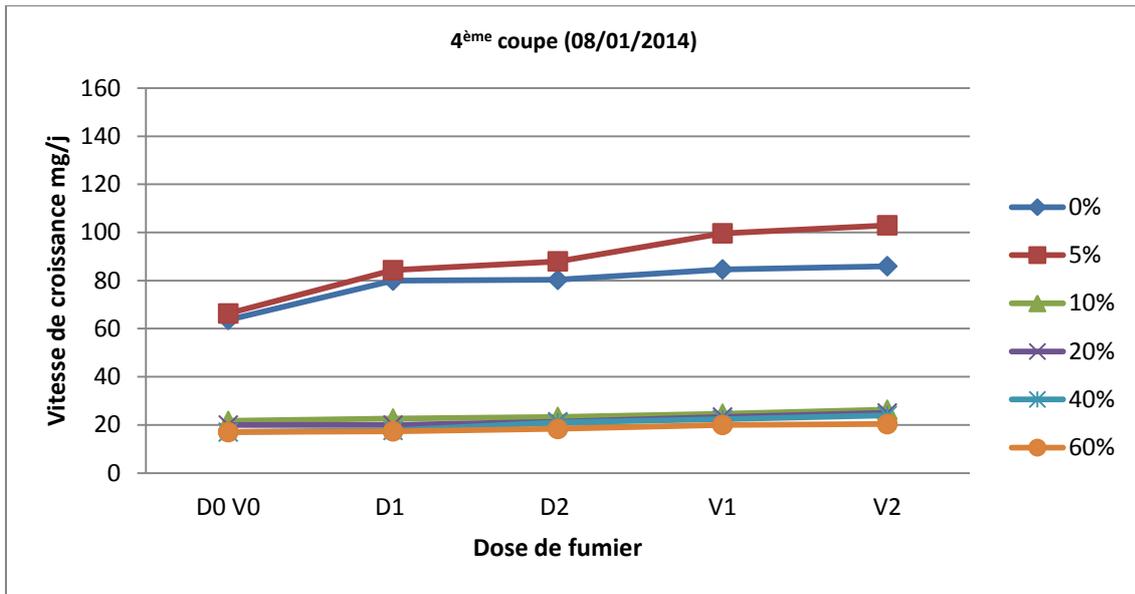


Figure 84: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la quatrième coupe.

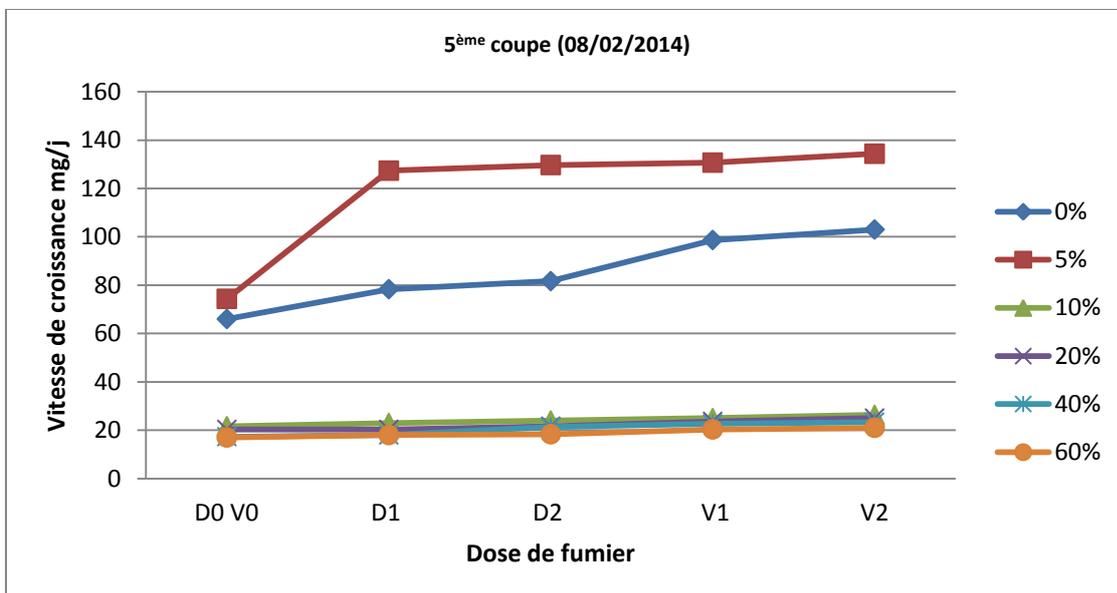


Figure 85: Evolution de la vitesse de croissance du ray grass en fonction de la dose de fumier de la cinquième coupe.

IV.4. Effet du gypse sur la cinétique d'absorption de l'azote par ray grass en présence et en absence de fumier

IV.4.1. Effet du gypse sur la teneur en azote du ray grass en présence et en absence de fumier

IV.4.1.1. Effet du gypse sur la teneur en azote du ray grass en absence de fumier

L'examen de la figure 86 montre que la dose 5% en gypse a enregistré la quantité la plus élevée en azote dans la partie aérienne avec des valeurs variant entre 1,86 et 2,1%. En plus cette quantité diminua avec l'augmentation du taux de gypse a partir de 5% ($r = - 0,77$). La plus faible quantité est enregistrée avec la dose 60% en gypse ; elle varie entre 0,01 et 0,02%.

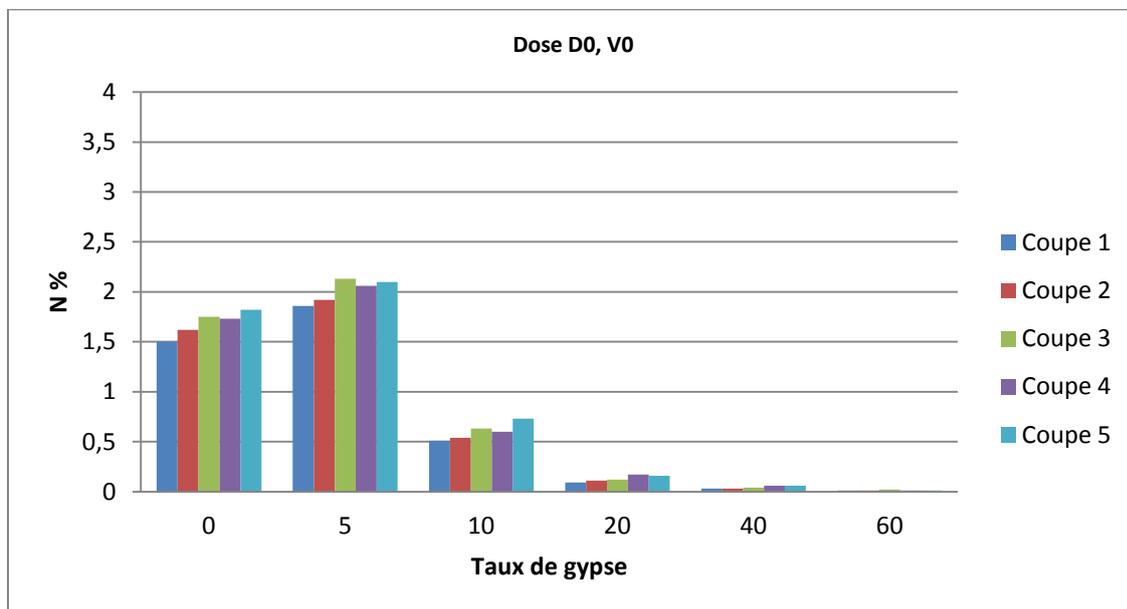


Figure 86: Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en absence de fumier.

IV.4.1.2. Effet du gypse sur la teneur en azote total du ray grass en présence de fumier ovin

Nous notons d'après les figures 87, 88, 89, 90 et 91 que la quantité la plus élevée d'azote total dans la partie aérienne est enregistrée avec la dose 5% en gypse, suivie par la dose 0% en gypse.

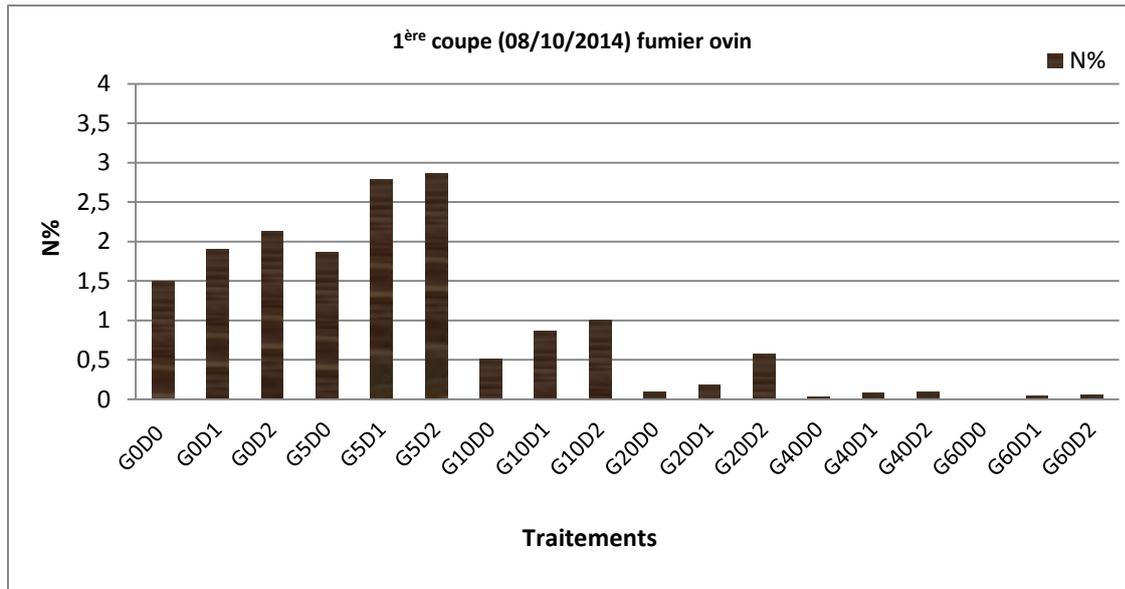


Figure 87: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la première coupe.

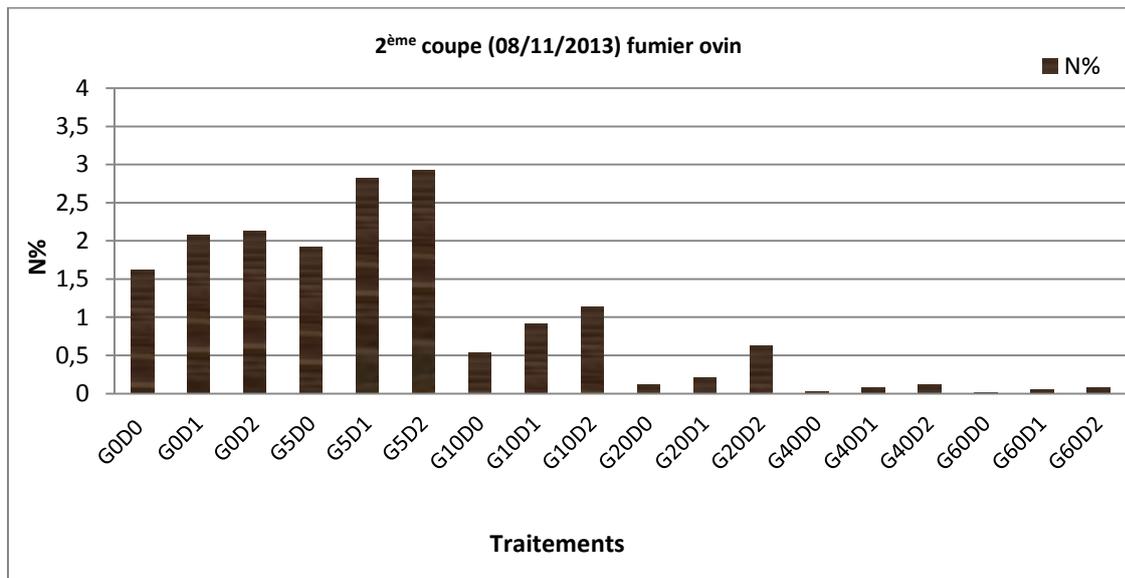


Figure 88: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la deuxième coupe.

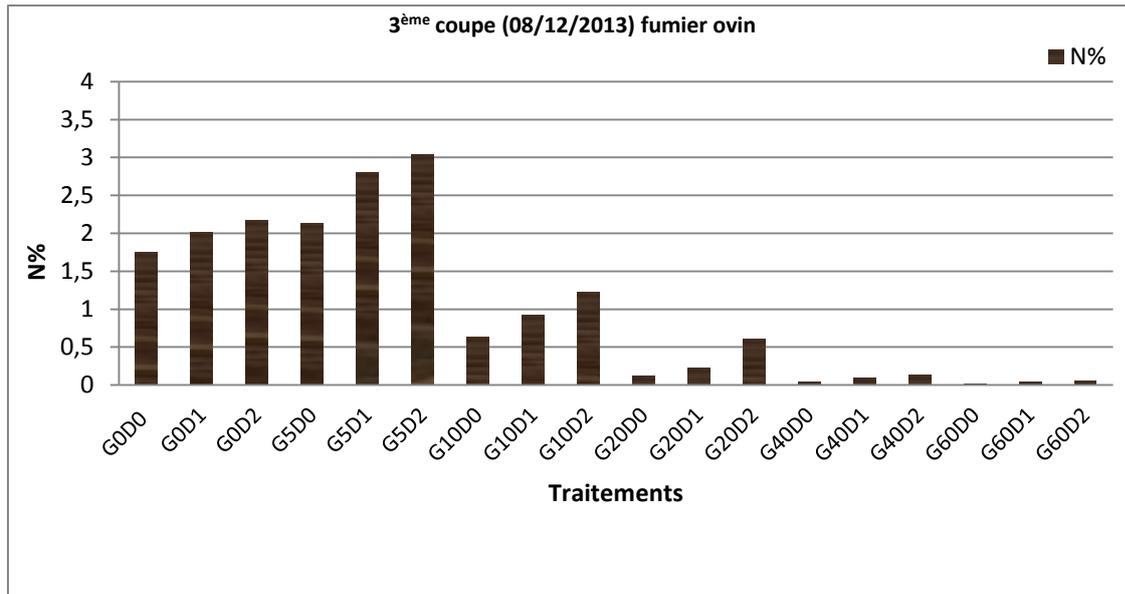


Figure 89: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la troisième coupe.

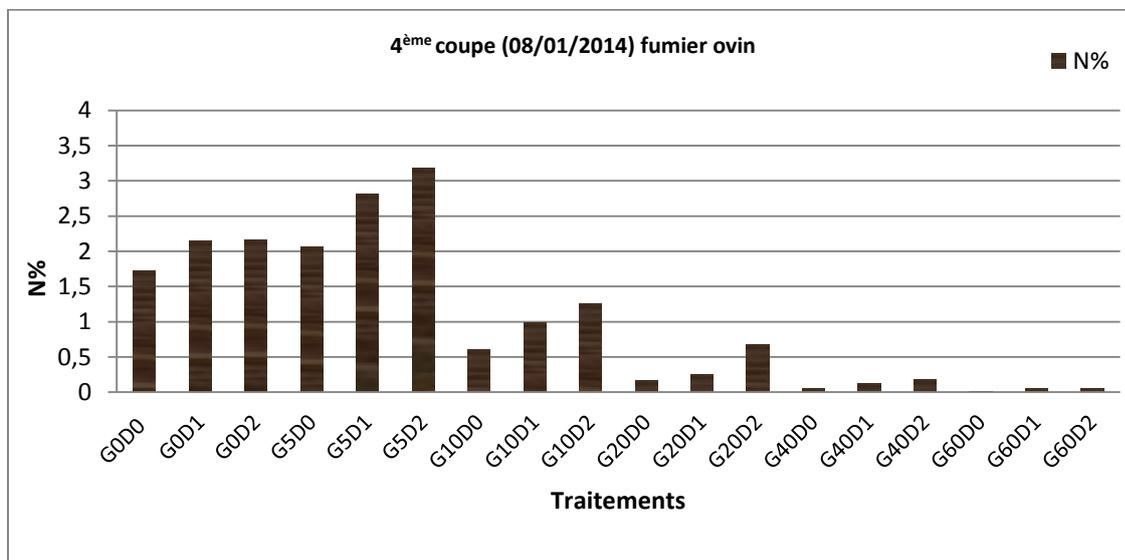


Figure 90: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la quatrième coupe.

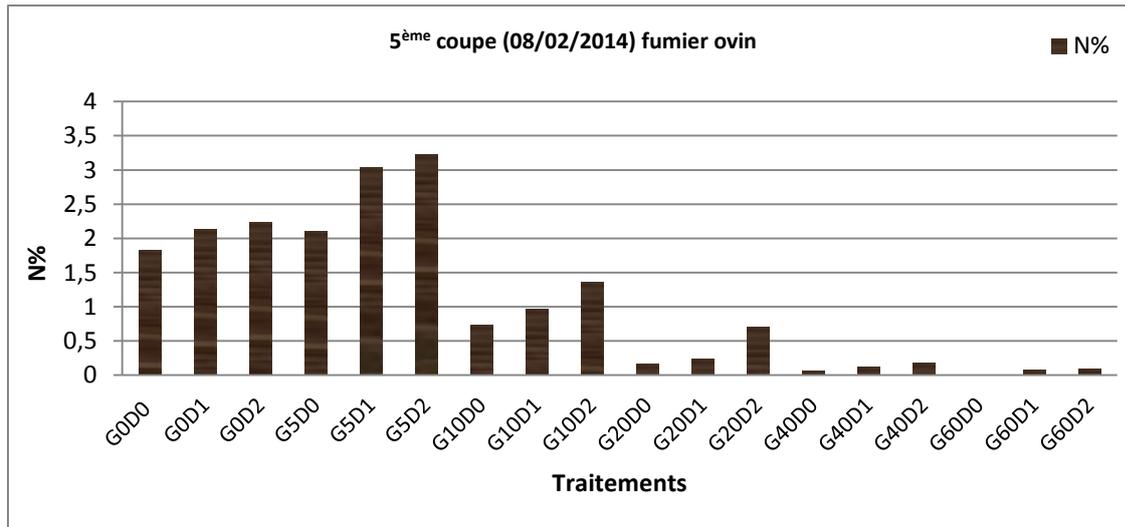


Figure 91: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence de fumier ovin de la cinquième coupe.

Nous notons des valeurs variant entre 1,86 et 3,23% et entre 1,5 et 2,23% respectivement pour les doses 5 et 0% en gypse. En outre, la dose 60% de gypse a enregistré la quantité la plus faible en azote ; elle varie entre 0,01 et 0,09% d'azote. Il y a une corrélation négative entre le taux du gypse dans le sol et l'azote absorbé par la plante ($r = - 0,80$).

En ce qui concerne l'effet de la dose de fumier, nous remarquons que la dose D₂ a enregistré la quantité la plus élevée en azote dans la partie aérienne suivie par la dose D₁ par rapport au témoin D₀ ($r = 0,99$).

IV.4.1.3. Effet du gypse sur la teneur en azote total du ray grass en présence de fumier volaille

Nous remarquons d'après les figures 92, 93, 94, 95 et 96 que l'augmentation du taux de gypse au – delà de 5% provoque une diminution de la quantité d'azote dans la partie aérienne du ray grass d'Italie par rapport au témoin ($r = - 0,82$). La quantité la plus élevée est enregistrée avec la dose 5% en gypse ; elle varie de 1,86 à 3,9%. Par contre la quantité la plus faible est enregistrée avec la dose 60% avec des valeurs variant de 0,01 à 0,21%.

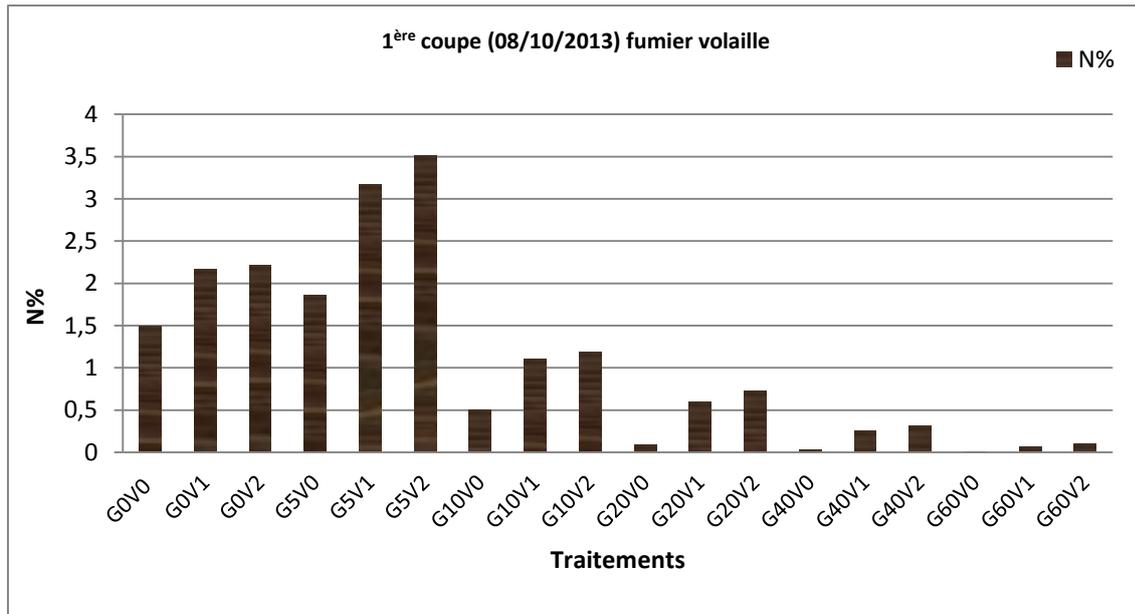


Figure 92 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la première coupe.

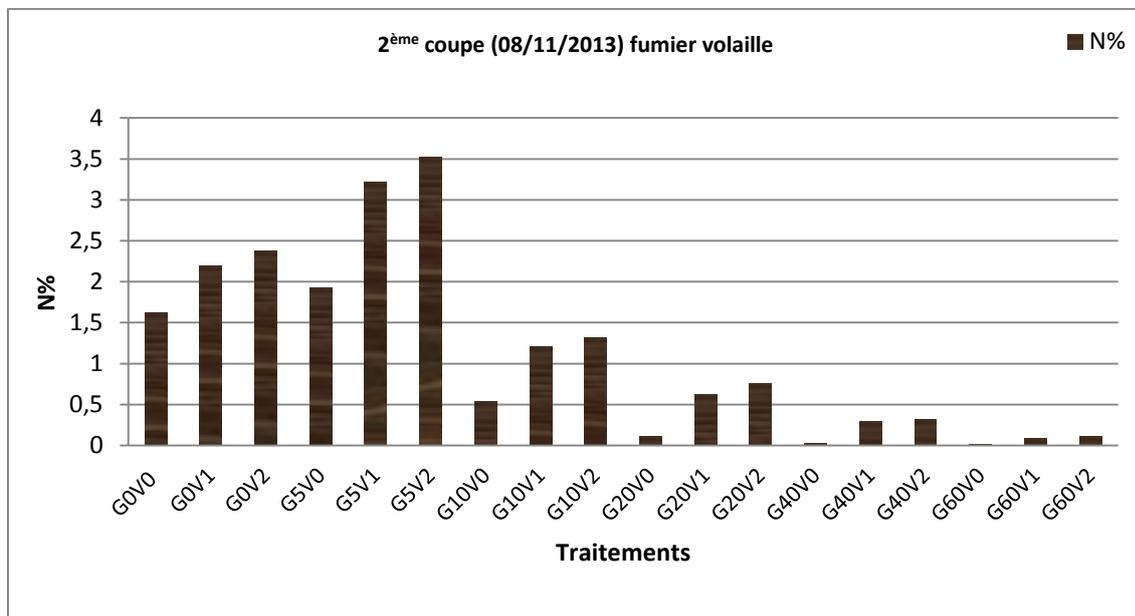


Figure 93 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la deuxième coupe.

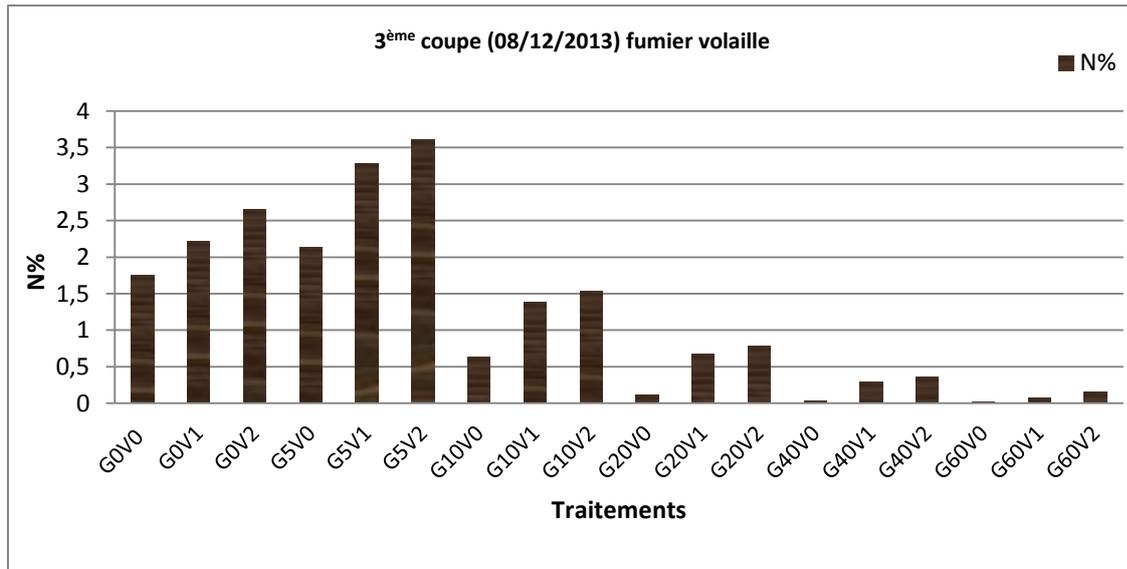


Figure 94 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la troisième coupe.

En outre la dose V₂ a enregistré la quantité la plus élevée en azote dans la partie aérienne suivie par la dose V₁ et en dernier lieu la dose V₀ (r = 0,96).

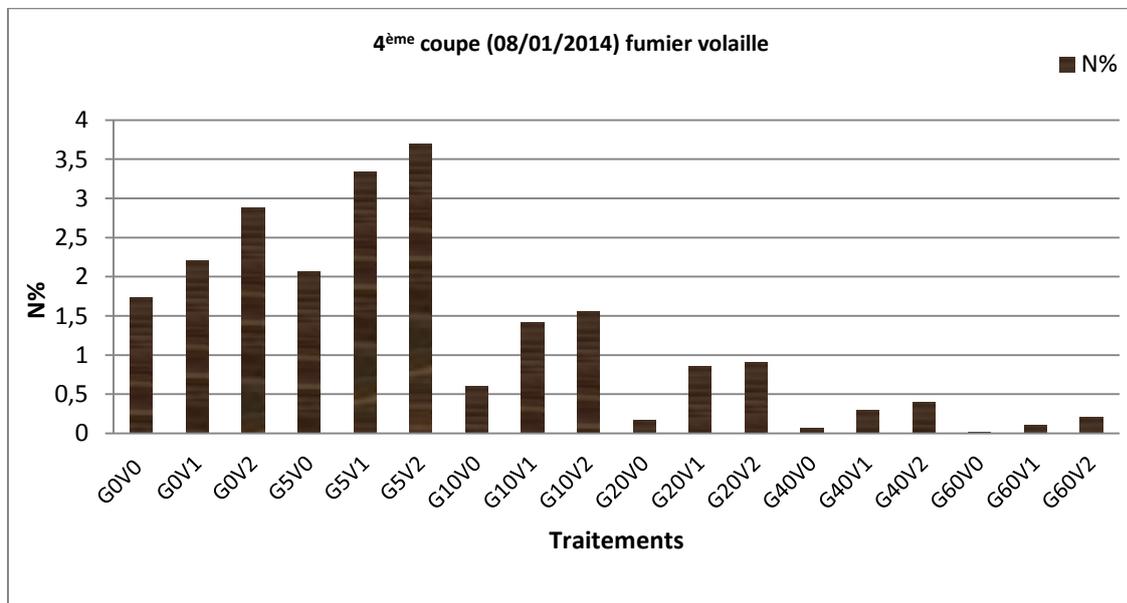


Figure 95 : Evolution de la quantité de l'azote dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse et en présence de fumier volaille de la quatrième coupe.

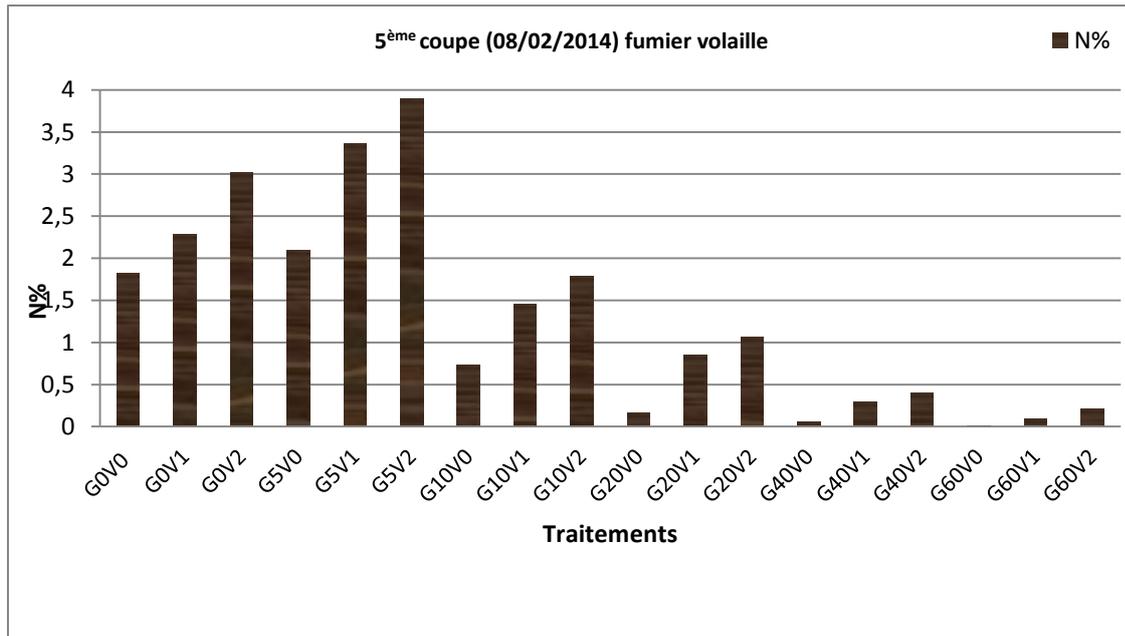


Figure 96 : Evolution de la quantité de l’azote dans la partie aérienne du ray grass sous l’effet du gypse et en présence de fumier volaille de la cinquième coupe.

IV.4.1.4. Effet du gypse sur la teneur en azote total du ray grass en présence de fumier ovin et volaille

L’analyse des figures 97, 98, 99, 100 et 101 révèle que, la dose 5% en gypse a enregistré la quantité la plus élevée en azote total dans la partie aérienne ceci est la conséquence d’une bonne minéralisation de l’azote organique du sol avec cette dose en gypse. Par contre la présence d’une faible quantité d’azote total dans la partie aérienne du ray grass avec l’augmentation du taux de gypse à partir de 5% est influencée par la faible minéralisation de l’azote organique dans le sol. C’est-à-dire que la quantité absorbée est proportionnelle à la quantité libérée dans le sol ($r = 0,81$).

L’analyse statistique confirme que l’augmentation du taux du gypse dans le sol au-delà de 5%, influence négativement sur la teneur en azote total de la plante (tableau 25).

En outre la dose V_2 a enregistré la quantité la plus élevée en azote, par contre la dose D_1 a enregistré la dose la plus faible par rapport au témoin. En général, elles sont classées comme suit $V_2 > V_1 > D_2 > D_1 > D_0, V_0$. Donc le fumier volaille a enregistré les quantités les plus

élevées en azote total dans la partie aérienne du ray grass d'Italie. L'analyse statistique témoigne ce résultat (tableau 26).

Machet et al, (1987) ont mentionné que, lorsque l'azote minéral augmente dans le sol, la quantité d'azote dans la plante croît proportionnellement à la quantité apportée.

La minéralisation de l'azote dépend fortement des conditions thermiques et hydrologiques du milieu, ainsi que de la présence de substrats de qualité, capables de fournir aux micro-organismes les nutriments et l'énergie nécessaire (Kara.Mitcho et al, 2004).

La présence des concentrations élevée en Ca^{+2} et en SO_4^{-2} dans la solution du sol diminue le prélèvement d'autres ions tels que K, Mg, Fe, Cu, Zn, P, NO_3 , ceci traduit par une pression osmotique élevée qui réduit l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs par la plante (Mashali, 1996).

En outre, l'analyse statistique (annexe 11) montre que la quantité la plus élevée en azote total dans la partie aérienne du ray grass d'Italie est enregistrée avec la dose 5% en gypse en interaction avec la dose V_2 du fumier volaille.

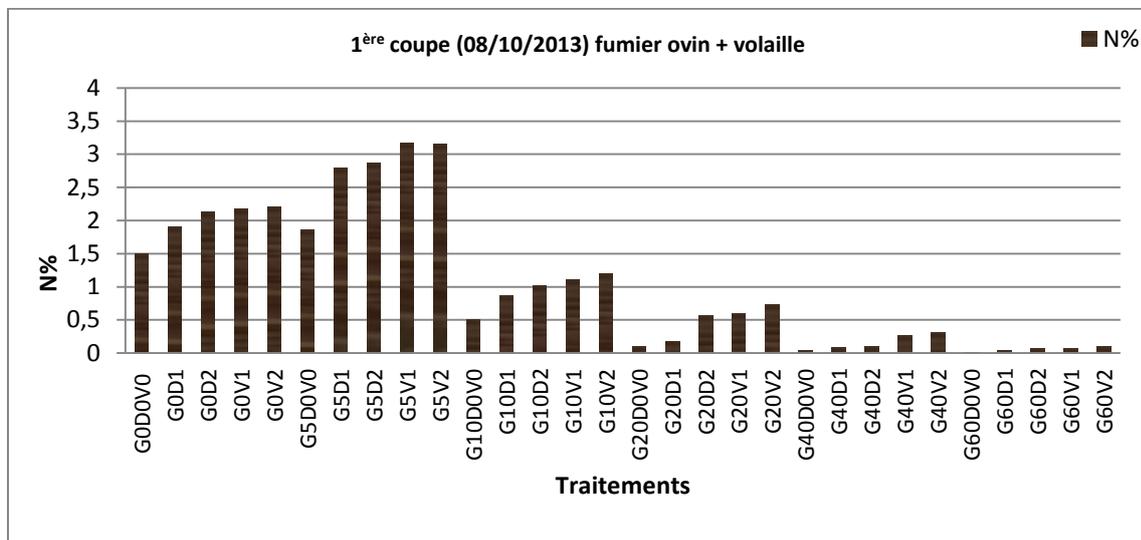


Figure 97: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la première coupe.

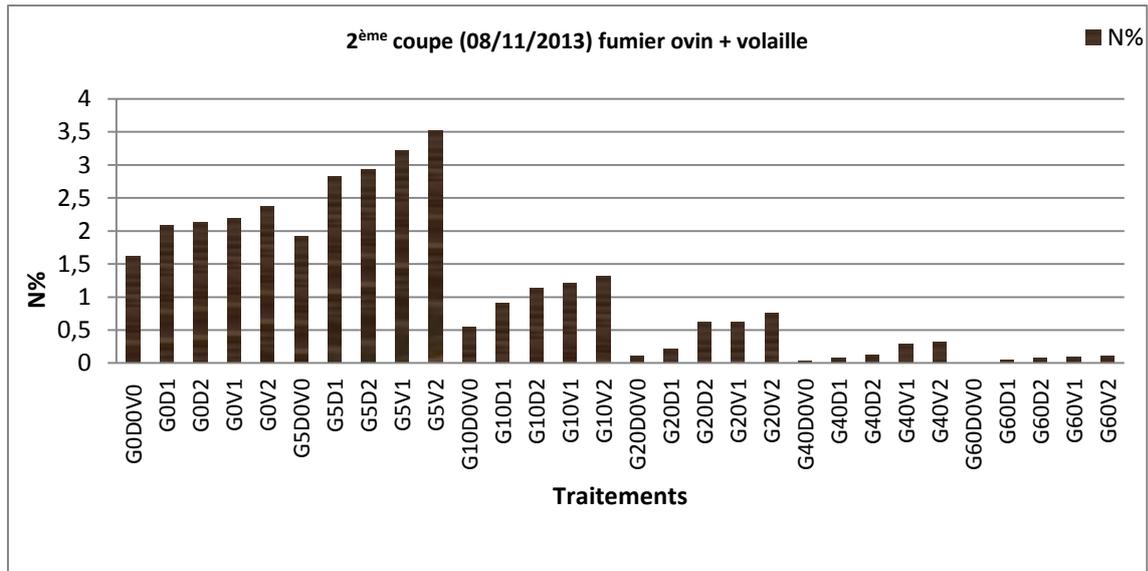


Figure 98: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la deuxième coupe.

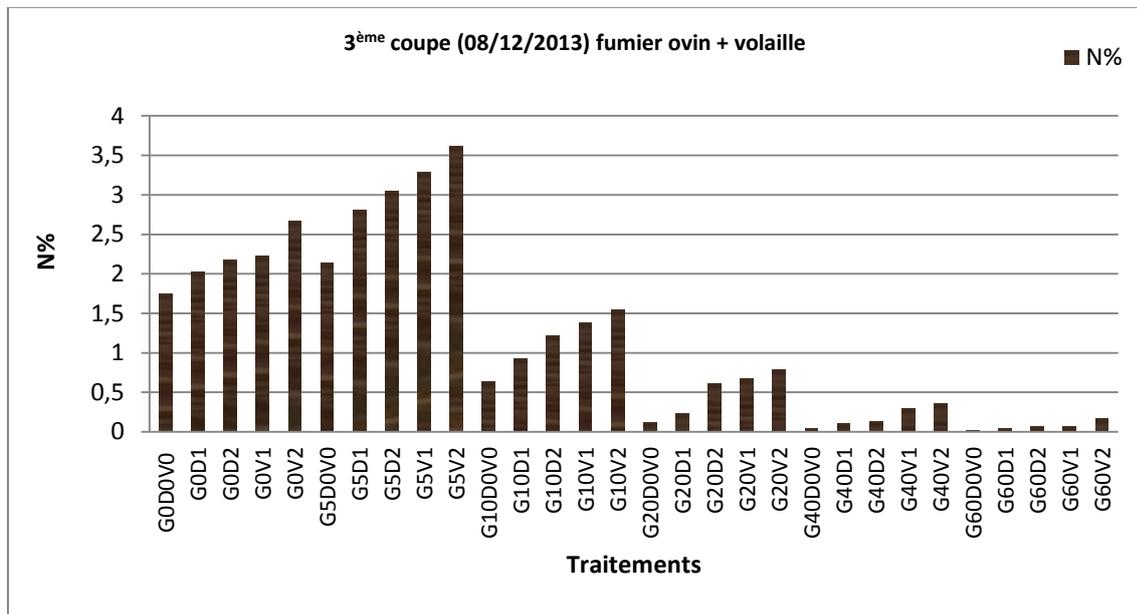


Figure 99: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la troisième coupe.

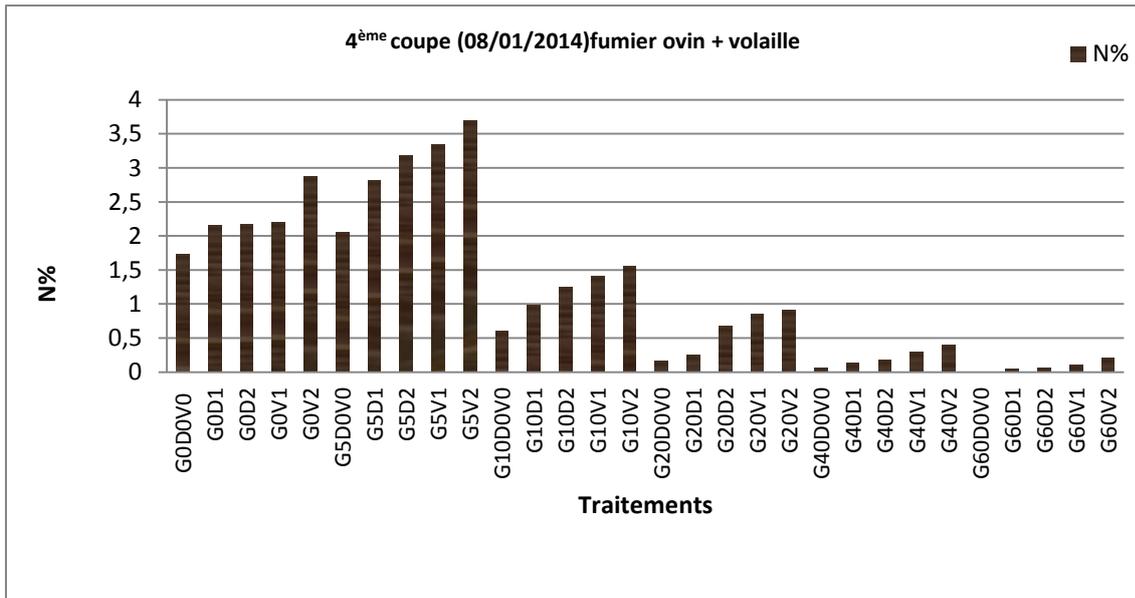


Figure 100: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la quatrième coupe.

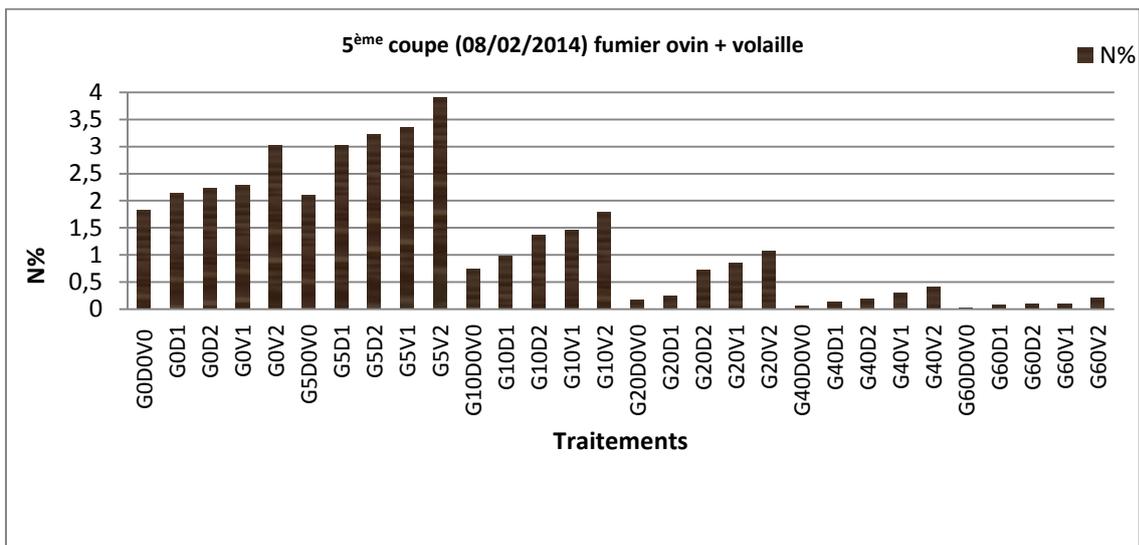


Figure 101: Evolution de la quantité de l'azote total dans la partie aérienne du ray grass sous l'effet du gypse en présence et en absence de fumier de la cinquième coupe.

Tableau 25: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du gypse sur la quantité d'azote total dans la plante.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
5%	2,967	A
0%	2,150	B
10%	1,104	C
20%	0,511	D
40%	0,187	E
60%	0,075	F

Tableau 26: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du fumier sur la quantité d'azote total dans la plante.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V ₂	1,520	A
V ₁	1,316	B
D ₂	1,209	C
D ₁	1,036	D
D ₀	0,748	E
V ₀	0,748	E

IV.4.2. Effet du gypse sur la vitesse d'absorption de l'azote par le ray grass en présence et en absence de fumier

D'après les figures 102, 103, 104, 105 et 106, la vitesse d'absorption de d'azote la plus élevée est enregistrée avec la dose 5% en gypse suivie par la dose 0% durant toute l'expérience pour les sols amendés et les non amendés avec le fumier. Les doses 10, 20, 40 et 60% en gypse ont une vitesse d'absorption faible. Nous remarquons aussi une augmentation de la vitesse d'absorption avec le temps ; c'est-à-dire d'une coupe à l'autre, surtout avec la dose 5 et 0% en gypse. Les valeurs enregistrées avec la dose 5% en gypse varient entre 452,33 et 5239ug/j. L'analyse statistique (tableau 27) montre qu'il y a trois groupes homogènes A, B, C ; la dose 5% en gypse se classe dans le groupe A par la moyenne la plus élevée, suivie par la dose 0% dans la classe B et enfin les doses 10, 20, 40 et 60% dans la classe C.

Le gypse se cristallise autour des racines ceci réduit l'extraction de l'eau et les éléments nutritifs par la plante (Mashali, 1996), et diminue l'utilisation et l'assimilation de l'azote appliqué (Cairns *et al*, 1981).

Tableau 27: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du gypse sur la vitesse d'absorption de l'azote par le ray grass.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
5%	2342,915	A
0%	1374,604	B
10%	256,153	C
20%	112,548	C
40%	39,854	C
60%	13,867	C

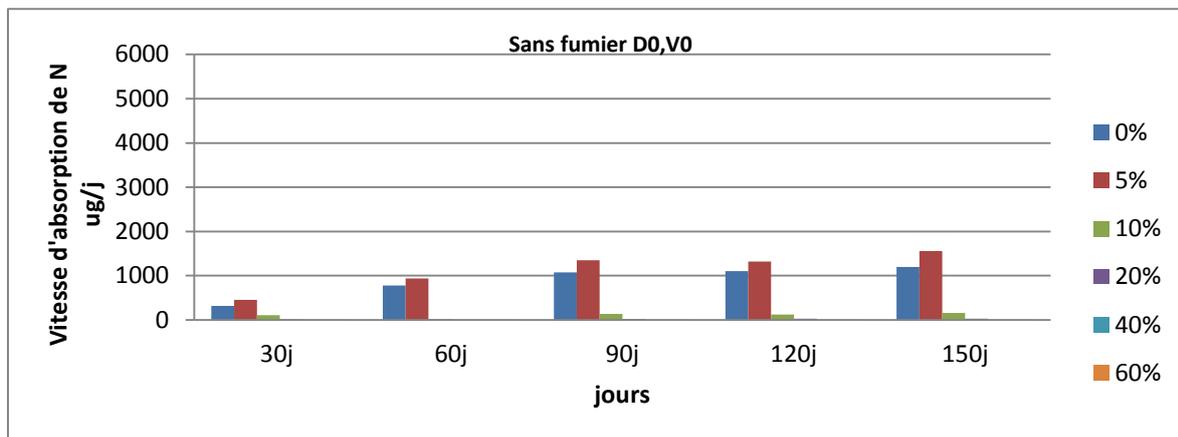


Figure 102: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D0V0.

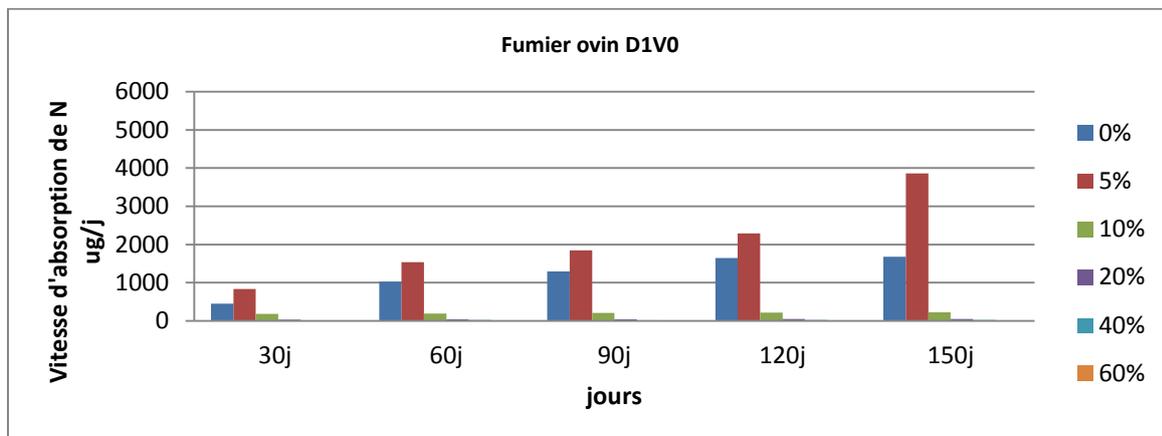


Figure 203: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D1V0.

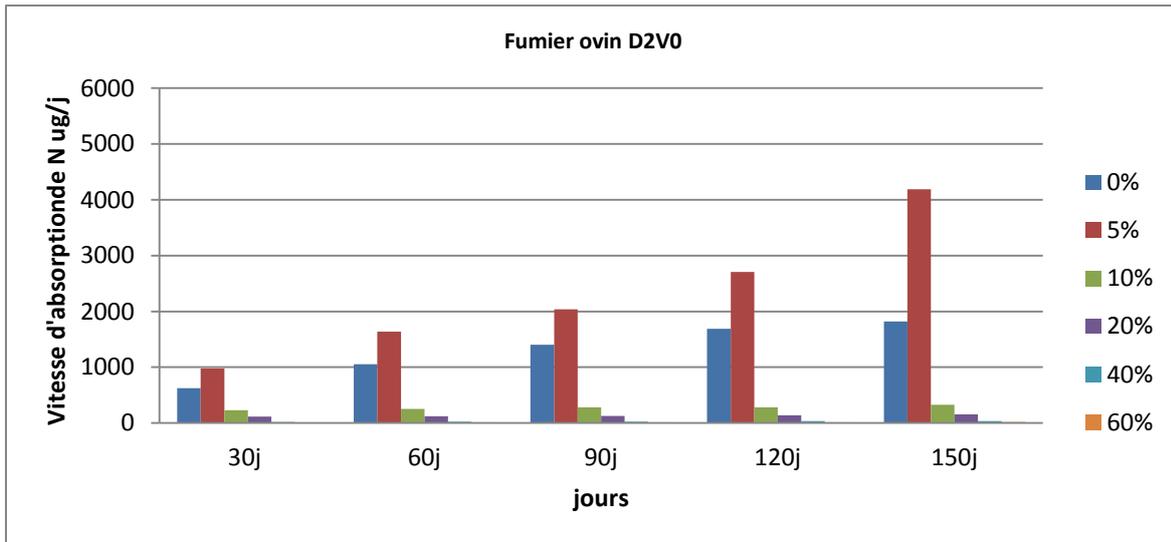


Figure 104: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D2V0.

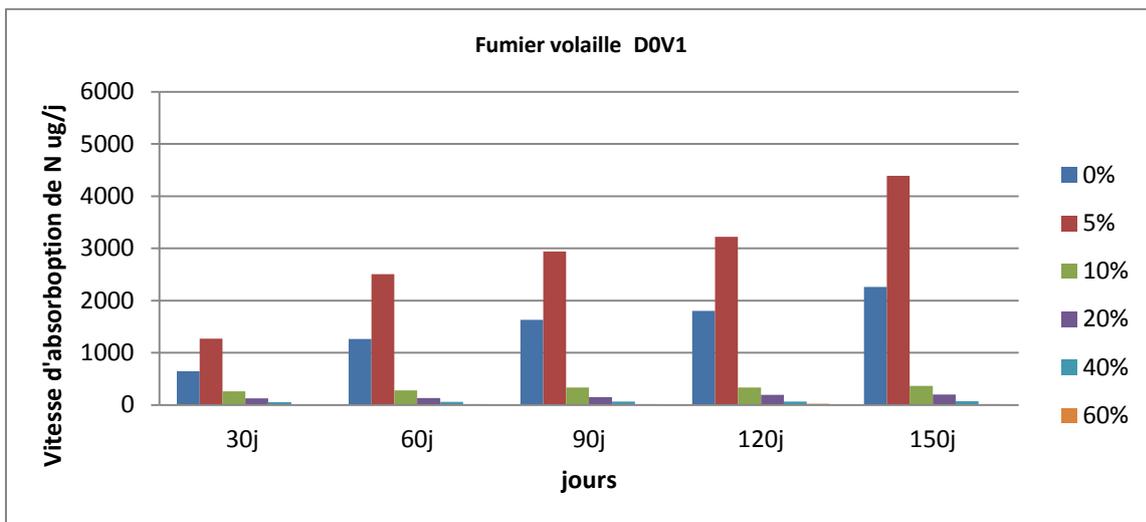


Figure 105: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction du temps pour le traitement D0V1.

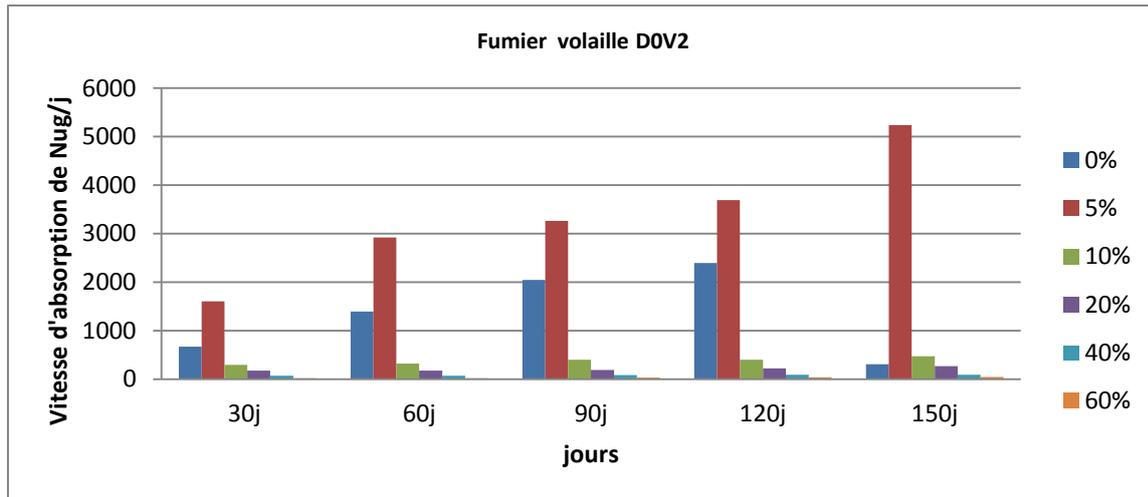


Figure 106: Evolution de la vitesse d’absorption de l’azote en fonction du temps pour le traitement D0V2.

En outre, la dose V_2 a enregistré la vitesse d’absorption en azote la plus élevée suivie par la dose V_1 puis la dose D_2 ensuite la dose D_1 et enfin la dose D_0 et V_0 avec toutes les doses de gypse (figure 107, 108, 109, 110 et 111). L’analyse statistique (tableau 28) montre qu’il y a trois groupes homogènes A, B, C. La dose V_2 se classe dans le groupe A avec la moyenne la plus élevée, par contre les doses D_0 et V_0 se classent en dernier lieu dans la classe C avec la moyenne la plus faible.

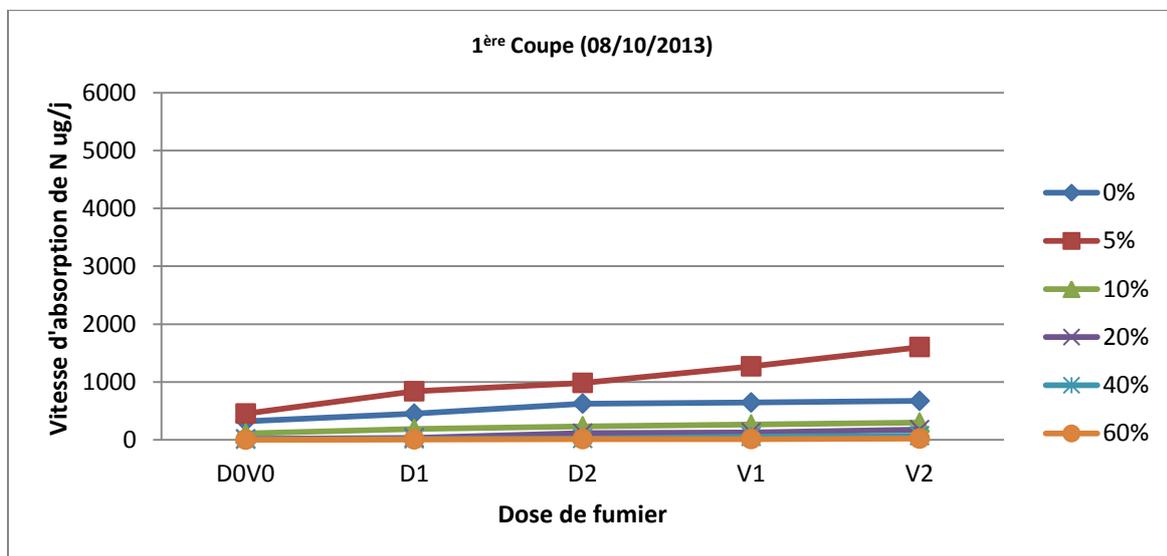


Figure 107: Evolution de la vitesse d’absorption de l’azote en fonction de la dose de fumier de la première coupe.

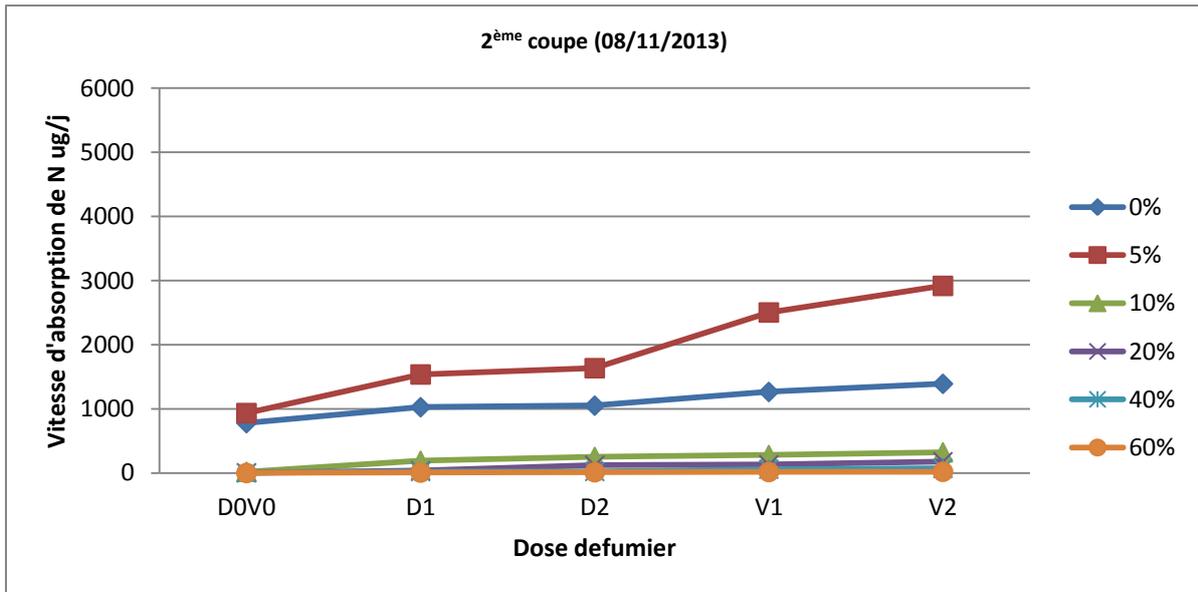


Figure 108: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la deuxième coupe.

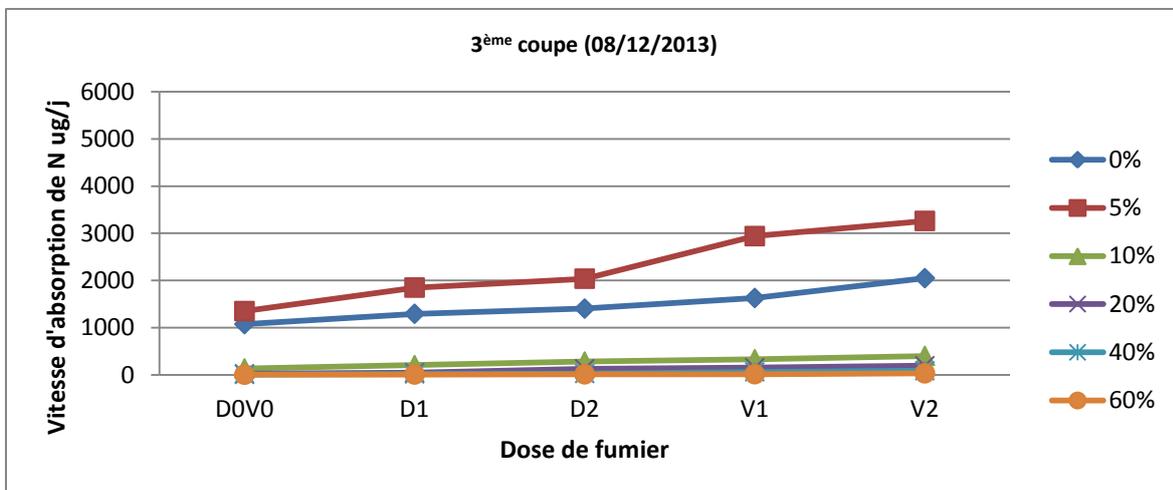


Figure 109: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la troisième coupe.

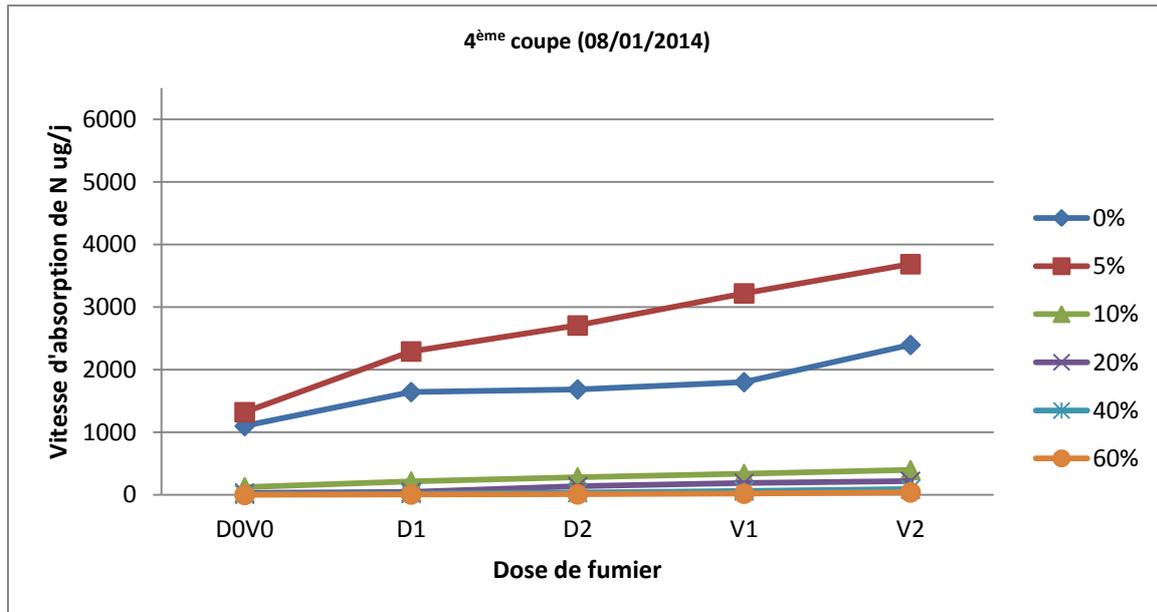


Figure 110: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la quatrième coupe.

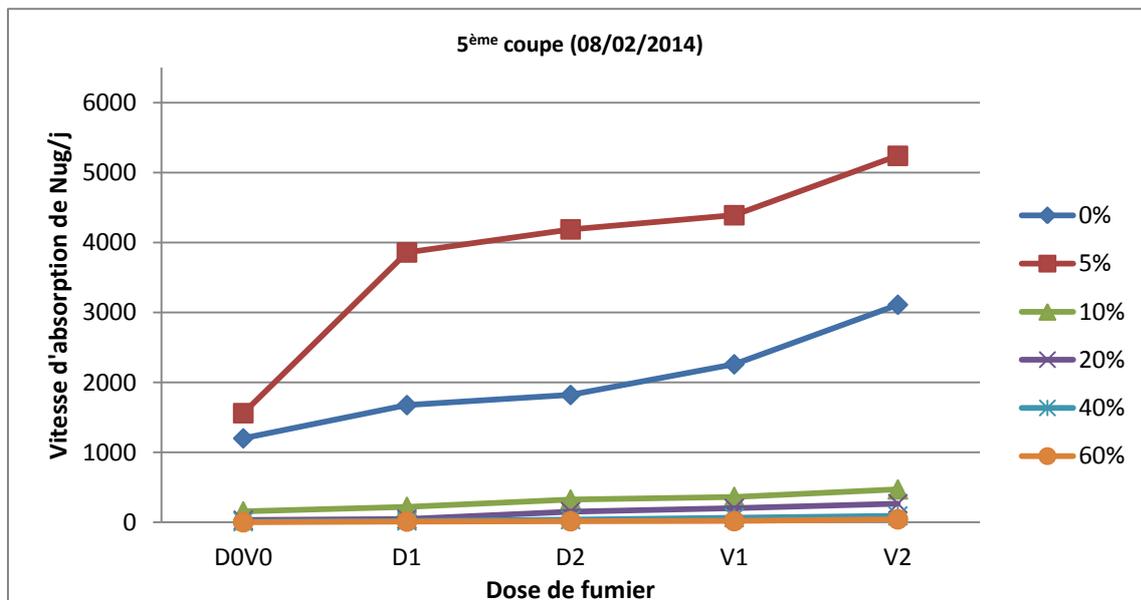


Figure 111: Evolution de la vitesse d'absorption de l'azote en fonction de la dose de fumier de la cinquième coupe.

Tableau 28: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet moyen du fumier sur la vitesse d'absorption de l'azote par le ray grass.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V ₂	993,885	A
V ₁	822,927	A B
D ₂	678,944	B
D ₁	594,508	B C
D ₀	359,688	C
V ₀	359,688	C

Concernant l'interaction entre le taux du gypse et la dose de fumier sur la vitesse d'absorption de l'azote ; le taux traitement G₅V₂ se classe dans la classe A avec la moyenne d'absorption d'azote la plus élevée et le traitement G₆₀V₀ et G₆₀D₀ en dernier lieu avec la moyenne la plus faible (annexe 12).

IV.5. Conclusion

L'analyse des résultats obtenus lors de cette expérience montre que les valeurs les plus élevées sont enregistrées avec la dose 5% de gypse, alors que les plus faibles sont obtenues avec la dose 60% en gypse pour tous les paramètres étudiés (taux de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, N minéral du sol, le poids de la matière sèche aérienne, racinaire et total, la vitesse de croissance de la plante, la teneur en azote dans la plante et la vitesse d'absorption d'azote). En outre, le fumier volaille a enregistré les meilleurs résultats par rapport au fumier ovin pour tous les paramètres étudiés précités avec la dose V₂. Et que la dose 5% en interaction avec la dose V₂ ont donné de bons résultats avec tous les paramètres étudiés.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude de la minéralisation de l'azote organique dans un sol limono-argileux en présence des amendements organiques nous a permis de dégager plusieurs conclusions :

Une meilleure nitrification est enregistrée avec la dose 5% en gypse pour le sol amendé et non amendé en fumier et une faible nitrification est enregistrée avec la dose la plus élevée en gypse (60%). En plus, nous avons remarqué que l'augmentation de la dose du gypse au-delà de 5% provoque une diminution de la nitrification pour tous les prélèvements. Donc, on peut dire que la nitrification de l'azote issue du sol et du fumier est inversement proportionnelle au taux du gypse. La quantité de N-NO_3^- libérée lors de l'expérience varie entre 27,81 et 112,75 ppm pour la dose 5% en gypse et entre 8,52 et 50,99 ppm pour la dose 60% en gypse.

En ce qui concerne l'effet du gypse sur l'ammonification en absence et en présence du fumier, nous avons remarqué une faible ammonification avec l'augmentation du taux de gypse au-delà de 5%. En outre, une stimulation de l'ammonification est enregistrée avec la dose 5% en gypse. La quantité d'azote ammoniacale enregistrée durant l'expérience varie de 23,87 à 55,4 ppm et de 5,36 à 22,72 ppm respectivement pour la dose 5 et 60% en gypse.

Pour l'effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral en présence et en absence du fumier, nous avons remarqué une activation de la minéralisation de l'azote organique du sol et du fumier avec la dose 5% en gypse. Et un ralentissement de la minéralisation avec l'augmentation du taux de gypse au-delà de 5%. Les faibles taux en azote minéral sont enregistrés avec la dose 60% en gypse. Nous avons noté une quantité de 52,33 à 163,6 ppm pour la dose 5% en gypse et entre 13,88 à 70,74 ppm pour la dose 60% en gypse.

Concernant l'effet de la dose et le type du fumier sur la nitrification, l'ammonification et la minéralisation de l'azote organique, nous avons remarqué une meilleure nitrification, ammonification et minéralisation avec le fumier volaille par rapport au fumier ovin. En outre, la dose V2 a enregistré les quantités les plus élevées en azote nitrique, ammoniacal, et minéral suivie par la dose V1 puis la dose D2 et en dernier lieu la dose D1 par rapport au témoin.

D'autre part pour l'effet du gypse sur le rendement en matière sèche aérienne, racinaire et total, en présence et en absence du fumier, nous avons enregistré les meilleurs rendements en matière sèche aérienne, racinaire et total avec la dose 5% en gypse. Et les faibles rendements avec la dose la plus élevée en gypse (60%).

La quantité de la matière sèche totale varie entre 8,8 à 14,48g pour la dose 5% en gypse et de 2,43 à 3,27g pour la dose 60% en gypse.

Pour l'effet du type et de la dose du fumier sur le rendement en matière sèche aérienne, racinaire et total, les quantités les plus élevées sont enregistrées pour le fumier volaille ; avec la dose V2 suivie par la dose V1 comparativement au fumier ovin. La dose D2 est classée après les doses du fumier volaille suivie par la dose D1 par rapport au témoin.

En outre, nous remarquons concernant l'effet du gypse sur la vitesse de croissance de la plante en présence et en absence du fumier, que la vitesse la plus élevée est enregistrée avec la dose 5% en gypse ; elle varie de 24,33 à 134,33mg/j. Et la plus faible avec la dose 60% en gypse avec des valeurs qui varient entre 13,33 et 21mg/j. Mais généralement la vitesse de croissance est faible pour les doses en gypse allant de 10 à 60%.

En plus, nous remarquons aussi que la vitesse de croissance du ray grass d'Italie la plus élevée est enregistrée avec la dose V2 du fumier volaille, par contre la plus faible est enregistrée avec la dose D1 par rapport au témoin.

La quantité d'azote absorbée par la plante est classée d'ordre décroissant selon le taux de gypse, elle est classée comme suit $5 > 0 > 10 > 20 > 40 > 60\%$. Et elle est classée selon le type et la dose de fumier comme suit $V2 > V1 > D2 > D1 > D0, V0$.

La vitesse d'absorption d'azote la plus élevée est enregistrée avec la dose 5% en gypse et la plus faible avec les doses 10, 20, 40 et 60% en gypse. En plus, la dose V2 a enregistré la vitesse la plus élevée et la dose D₁ la vitesse la plus faible par rapport au témoin.

Enfin, on peut dire que l'augmentation de la minéralisation de l'azote organique est en relation étroite avec la diminution du taux de gypse et l'augmentation de la dose du fumier qui se traduit par une grande vitesse de l'absorption de l'azote par la plante, une vitesse de croissance élevée, un taux élevée en matière sèche et vis versa.

Toutefois, ayant été effectué dans des conditions semi contrôlées, ce travail nécessite d'être étudié en plein champ. Ces pistes de recherches visent à améliorer les rendements des cultures par la mise en place des stratégies de fertilisation avec les amendements organiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abrukova LP., Isayeh VA., 1983 – Structural mechanical properties of gray- brouwn gypsiferous soil. Soviet soil sciences 15(6), pp 90- 100.

Al- Kubaisi AAJ., 1988 – Effect of sprinkler and basin irrigation methods on some properties of Al- Dour gypsiferous soil and growth of corn plant. M.S. thesis, university of Baghdad, Iraq.

Al-Rawi AAH., Lazem IT., Hamdy L., Gasem T., 1983 – Effect of some soil conditioners on properties of calcareous and gypsiferous soils and growing of millet (*Panicum miliacum*). Agriculture research and water resources journal, vol 5, pp 1-20.

Amlinger F., Gôtz B., Dreher P., Geszti J., Weisstiner C., 2003 - Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability-a review. European Journal of Soil Biology 39: pp 107-116.

Arslan A., Dutt GR., 1993 – Solubility of gypsum and its prediction in aqueous solutions of mixed electrolytes. Soil Sc. 155, 1 pp 37-46.

Artieda O., Herrero J., 1996 – Soils with gypsum of the Central Ebro Valley. Excursion Guide. International symposium on soils with gypsum. Lleida, 15-21 sep. Edicions Universitat de Lleida. Lleida, Spain, 203p.

Aubert G., 1978 - Méthodes d'analyses des sols. C.R.D.P. Marseille, 188p.

Badia D., 2000 - Potential Nitrification Rates of Semiarid Cropland Soils from the Central Ebro Valley, Spain. Arid Soil Research and Rehabilitation; 14(3):pp 281-292.

Baize D., 1998 - Guide des analyses courantes en pédologie. ED, Masson, Paris, pp 41-44.

Baize D., Girard MC., 2008 - Référentiel pédologique. Association française pour l'étude du sol (Afes). 9^{ème} Éditions Quæ. 405p.

Barbault R., 2003- Ecologie générale : structure et fonctionnement de la biosphère. 5^{ème} ED, Ed Dunod, Paris, 326p.

Barroin G., Dorioz JM., Durand P., Merot P., 1996 - Entraînement de l'azote dans les eaux de surface et conséquences sur les écosystèmes aquatique. Pp 39-53 in Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. Reims (France) 19-20 novembre 1996 INRA Editions.

Bellair P., 1954 – Sur l'origine des dépôts de sulfate de calcium actuels et anciens. Comptes rendus des sciences de l'Académie des sciences, 239, pp 1059- 1061.

Bellanca A., Neri R., 1993 – Dissolution and precipitation of gypsum and carbonate minerals in soils on evaporite deposits, central Sicily: isotope geochemistry and microfabric analysis. Geoderma, 59, 1/4, pp 263-277.

Bensaid R., 1999 – Les sols a accumulations gypso- calcaires de la région de Ain Ben Noui (Biskra). Annales de INA El Harrach- vol. 20, N° 1et 2, 7p.

Bertrand R., Gigou J., 2000 - La fertilité des sols tropicaux. ED Maisonneuve et Larose, Paris, 397p.

Bøckman OC., Kaarstad O., Lie OH., Richards I., 1990 - Agriculture et fertilisation. Ed Division agriculture. Norsk Hydro a, s, Oslo, Norvège. 258p.

Bodet JM., Hacala S., Aubert C., Texier C., 2001 - Fertiliser avec les engrais de ferme. Institut de l'élevage. ITAVI, ITCF, ITP. 101p.

Bouneau M., Souchier B., 1979 – Pédologie, constituants et propriétés du sol. Ed Masson Paris. Pp 388 - 392.

Boyadgiev TG., 1974 – Contribution to the knowledge of gypsiferous soils. AGRON/SF/SYR/67/522 FAO Rome.

Boyadgiev T.G., 1975 - Les sols du Hodna, Etude des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna, Algérie. FAO, Rome.

Boyadgiev TG., 1985 – Salty soils of arid and semi-arid regions. Sci. Rev. Arid Zone Es. Vol. 3, pp 1-47. Scientific Publisher Jodhpur.

Boyadgiev TG., Sayegh AH., 1992 – Forms and evolution of gypsum in arid soils and soil parent materials. Pedologie, 42, 2, pp 171-182.

Boyadgiev TG., Verheye WH., 1996 - Contribution to a utilitarian classification of gypsum in soils. Geoderma 74, pp 321–338.

Bureau P., Roederer P., 1960 – Contribution à l'étude des sols gypseux du sud Tunisien : croûte et encroûtement gypseux de la partie Sud du Golf de Gabes. Bull. AFES. N°spécial, pp 150- 176.

Cairns RR., Lavado RS., Webster GR., 1981 - Yield depression caused by gypsum applied in combination with NH_4NO_3 , to a Solonchic soil. Investigaciones Agrícolas 16, b-10.

Calvet G., Villemin P., 1986 - Interprétation des analyses des terres. ED. SCPA, 25p.

Campbell CA., Souster W., 1982 - Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. Canadian Journal of Soil Science 62: pp 651-656.

Carter MR., 1986 - Microbial biomass and mineralizable nitrogen in solonchic soils: Influence of gypsum and lime amendments. Soil Biology and Biochemistry. Volume 18, Issue 5, 1986, pp 531–537.

Cellier P., Germon JC., Hérault C., Genermont S., 1997 - Mécanismes des émissions et quantifications des flux d'azote atmosphérique. : Mécanismes de production et quantification des flux. In : Lemaire G, Nicolardot B. Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. Paris : Inra éditions.

Chambenoit C., Laurent F., Machet JM., Sceurer O., 2002 - Fertilisation azotée de la pomme de terre, guide pratique. Editions INRA, 128p.

Chauhan RPS., 1992 – Comparative efficiency of gypsum and iron pyrites in sodic soil reclamation. Journal of the Indian Society of Soil Science, 40, 2, pp 404- 405.

Chaussod R., Nicolardot B., Catroux G., Chretien J., 1986 - Relations entre les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. Science du sol. P 2, pp 213-226.

Choudhary OP., Josan AS., Bajwa MS., 2002- Role of organic materials in mobilizing intrinsic calcium carbonate to ameliorate sodic irrigations. In Proceedings of the 17th World Congress Soil Science, Abstracts Vol. III. Symposium No. 34. IUSS, Bangkok. 162 p.

Choudhary OP., Kaur Gurleen., Benbi Dinesh K., 2007 - Influence of Long-Term Sodic-Water Irrigation, Gypsum, and Organic Amendments on Soil Properties and Nitrogen Mineralization Kinetics under Rice-Wheat System. Communications in soil science and plant analysis. vol. 38, n°19-20, pp. 2717-2731.

CIRAD., 2004 – Catalogue des analyses courantes. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Copyright cirad). 28p.

Coque R., 1962 – La Tunisie Présaharienne : Etude géomorphologique. Armand colin, Ed, Paris, Thèse d'état 488 p.

Corpen., 1991- Interculture, Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'environnement, Paris.

Davet P., 1996 - Vie microbienne du sol et production végétale. Edition INRA. Paris. 383p.

Dekkiche B., 1974 – Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélations géochimiques des eaux de la nappe. Thèse de doctorat Gent. Belgique 211p.

Delphin JE., 1986 - Evaluation du pouvoir minéralisateur des sols agricoles en fonction de leur caractéristiques physico- chimique. Agronomie, 6, pp 453 - 458.

Dommergues Y ., Mangenot F., 1970: Ecologie microbienne du sol. ED Masson, 796p.

Duchaufour P., 1976 – Atlas écologique des sols du monde. Masson Paris, 178p.

Duget F., 2005 - Minéralisation de l'azote et du phosphore dans les sols organiques cultivés du Sud- Ouest du Quebec.

Dupuy Y ., Nougier P., 2005 - Les micro-organismes du gène à la biosphère. Sciences de la vie et de la terre. Ellipses édition Marketing 256p.

Durand JH., 1953 – Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. S.E.S Alger, 209 p.

Duthil J., 1973- Elément d'écologie et agronomie. Tome III. Exploitation et amélioration du milieu. Emploi des facteurs de la production végétale. Ed JB. Baillère. 656p.

Elherradi E., Soudi B., Elkacemi K., 2003 - Evaluation de la minéralisation de l'azote de deux sols amendés avec un compost d'ordures ménagères. Revue Étude et Gestion des Sols, Volume 10, 3, 2003 - pp 139 à 154.

Eswaran H., Ilaiwi M., Osman A., 1981 – Mineralogy and micromorphology of aridisols. Proc. 3ht. Int. Soil classification workshop. ACSAD, Damascus, pp 153 – 170.

Eswaran H., Zi-Tong G., 1991 – Properties, genesis, classification, and distribution of soils with gypsum. SSSA ; special publication no. 26, pp 89-119. Soil.Soc.Amer.Madison.

FAO., 1988 – Soils map of the world, revised legend. World soil resources. Report N° 60 FAO, Rome, 119p.

FAO., 1990 – Management of gypsiferous soils. Bulletin n°62, F.A.O Rome, 81p.

Faurie C., Ferra C., Médori P., Dévaux J., Hemptinue JL., 2003 - Ecologie approche scientifique et pratique. 5^{ème} édition Tec et Doc Paris 407p.

Feldhake CM., Ritchey KD., Boyer DG., 2001 – Fate of gypsum surface applied to an Appalachian hill pasture watershed. Agricultural water and management (50) 1: pp 27 -39.

Fenn LB., Kissel ED., 1984 – Ammonia loss from urea acid adducts surface – applied to soils. Soil Sci. Soc. Am .J. 48p.

FERTIAL., 2010 – Manuel utilisation des engrais. 96p.

Fischesser B., Dupuis-Tate MF., 2007 - Le guide illustré de l'écologie. Edition de la Martinière – QUAE, 349p.

Florea N., Al-Joumaa Kh., 1998 – Genesis and classification of gypsiferous soils of the Middle Euphrates floodplain. Syria. Geoderma volume 87, issue 1-2, pp 67-85.

FNIE., 1986 - La fertilisation. 6^{ème} édition, 84p.

Gérald H., Christiane S., 2011- Guide des fertilisants azotés utilisables en bio. Agricultures et territoires. Chambre d'agriculture Bas Rhin. 14p.

Germon J.C., Hénault C., Garrido F., Reazu R., 1999 - Mécanismes de production, régulation et possibilités de limitation des émissions de N₂O à l'échelle agronomique”, C.R. Acad. Agri. Fr., 85, pp 148-162.

Graham LE, Graham JM, Wilcox LW, 2006 - Plant biology. Second edition. Pearson, prentice hall, 479p.

Gray HB., Haigh GP., 1985 - Principes de chimie. Edition française, 578p.

Haddas A., Portnoy., 1994 - Nitrogen and carbon mineralization rates of composted manures incubated in soil. J. Environ.Qual. 23:pp 1184-1189.

Halitim A., 1973 – Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie. Thèse Doc. U.E.R des sciences biologiques, 352 p.

Halitim A., 1985 – Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse doctorat, Uni .Rennes, 384 p.

Halitim A., 1988 – Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger. 384 p.

Halitim A., Robert M., 1987 – Interaction du gypse avec les autres constituants du sol : analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentales. In Fedoroff et all. (ED): soil micromorphology, AFES.pp 179-186.

Hazzah AH., Al-Rawi AA., Abdul Ameir AR., 1986 - Effect of organic fertilizer on the properties of gypsiferous soil and the growth of millet (*Panicum miliacum*). Symposium on gypsiferous soils – Their effect on construction and agriculture production; 4-6 november 1986, Baghdad, Iraq.

Heinze M., Fielder HJ., 1984 – Physical properties of gypsiferous soils and accompanying soil forms in the Kyffhauser Mountains. Hercynia 21, pp 190- 203.

Hennen G., 2001 - Biochimie 1^{er} cycle cours et questions de révision. 3^{ème} edition Dunod Paris, 442p.

Herrero J., Poch RM., Porta J., Boixadera J., 1996 – Soils with gypsum of the Central Catalan Depression. Excursion Guide. International symposium on soils with gypsum, Lleida 15-21 septembre 1996. Edicions Universitat de Lleida, Spain, 87p.

Herrero J., Porta J., 1990 – Micromorphology and genesis of soils enriched with gypsum. CIHEAM JAMZ (Zaragoza).

Herrero J., Porta J., Fedoroff N., 1992 – Hypergypsic soil micromorphology and landscape relationships in Noortheastern Spain. Soil Sci. Amer. J.56, 4, pp 1188- 1194 Madison.

Hesse., 1974 - Some studies on gypsum and gypsic soils. A contribution to the mecanical analysis of gypsic soils. FAO., n° AGON/SF/SYR/522 : pp 100-106.

Indrasumunar A., Menzies N., W., Dart, J P., 2012- Calcium affects the competitiveness of acid-sensitive and acid-tolerant strains of *Bradyrhizobium japonicum* in nodulating and fixing nitrogen with two soybean cultivars in acid soil. Soil Biology and Biochemistry, 46, pp 115-122.

Jafarzadeh AA., Burnham CP., 1992 - Gypsum cristals in soils. Journal of soil science, 43, pp 409- 420.

Janssen BH., 1996 - Nitrogen mineralization in relation to C : N ratio and decomposability

Jauzein A., 1974 – Les données sur le système $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ et leurs implications géologiques. Revue Geogr. Phys. Geol. Dyn 2^a Serie. Vol XVI (2), pp 151-159.
of organic materials. Plant and Soil 181: pp39-45.

Javid Z., Fisher RF., 1990 - Fertilization influences nitrogen dynamics in soils under *Dalbergia sissoo* . in soil and plant, Volume 123, Issue 1, pp 67-71.

Jedidi N., Hassen A., Van Cleemput O., M' Hiri A., 2002 - Etude de la minéralisation de l'azote dans un sol en présence d'amendements organiques in proceeding of international symposium on environmental pollution control and waste management. Tunis (EPCOWM), pp 369- 381.

Jedidi N., Van Cleemput O., M'Hiri A. 1995 - Quantification des processus de minéralisation et d'organisation de l'azote dans un sol en présence d'amendements organiques. Can. J. Soil Sci. 75: pp 85-91.

Kadri A., 1987 – Pédologie des milieux gypseux en Tunisie présaharienne. DEA des sciences de la terre. Faculté des sciences de Tunis. 163p.

Kaouritchev I ., 1983 – Manuel pratique de pédologie. Ed. Mir- Moscou, 279p.

Kara.Mitcho AE., Parisod J-FR., Neyroud JA., 2004 – Le potentiel de minéralisation de l'azote du sol ; Revue suisse Agric.36 (6), pp259-264.

Kende S., 2010 - Minéralisation de l'azote dans deux sols amendés avec deux composts enrichis d'un antibiotique. Mémoire pour l'obtention du grade de Maître es sciences (M.Sc.), l'Université Laval Quebec. 76p.

Keren R., Kreit JF., Shainberg I., 1980 – Influence of size of gypsum particles on the hydraulic conductivity of soils. Soils sciences vol 130 n° 3, pp 113- 117.

Kevan J., Minick., Melany C., Fisk., Peter M., Groffman., 2011- Calcium and phosphorus interact to reduce mid-growing season net nitrogen mineralization potential in organic horizons in a northern hardwood forest. Soil Biology and Biochemistry, Volume 43, Issue 2, pp 271-279.

Kovda VA., 1954 – La géochimie des déserts de l'URSS. Communication au 5^{ème} Congrès international de la science du sol. L'académie des sciences, Moscou.

Kovda VA., 1965 - Alkaline sofa- saline soils. pp 15- 48. In.I. Szabolcs (ed)) Proc. Of the Symp. On sodic soils. Bbudapest, Hungary.

Kulke H., 1974 – Zur geologie und mineralogie der kalk- und gipskrusten Algeriens. Geol. Rund 63, pp 970- 998.

Lapeyronie A., 1982. Les productions fourragères méditerranéennes. Techniques agricoles et productions méditerranéennes ; généralités caractères botaniques et biologiques. Maisonneuve & Larose, Paris, 397 p.

Lemaire F., 1977- Nouvelles observations sur l'appréciation de la fertilité des sols cultivés au moyen de l'expérimentation en petits vases de végétation. Ann. Agron. 28:pp 425-444.

Lemaire G., Charrier X., Hébert Y., 1996- Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions. Agronomie 16, pp 231-246.

Lêveque C., Mounolou JC., 2001 - Biodiversité. Dynamique biologique et conservation. Edition Dunod, Paris. 248p.

Macht JM., Pierre D., Recous S., Remy JC., 1987 – signification du coefficient réel d'utilisation et conséquences pour la fertilisation azotée des cultures. C.R, Acad Agri. Fr.73, 3, pp 23-39.

Manna MC., Swarup A., Wanjari RH., Mishra B., Shahi DK., 2007- Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. Soil and Tillage Research 94, pp 397- 409.

Mansat P., Bessac P., Félix L., SD – Influence de quelques facteurs culturaux sur la production de semences des ray – grass. 31p.

Mardoud T., 1981- Gypsiferous soils in the Balikh Bassin – Characteristics and productivity. Soil Taxonomy Workshop, ACSAD, 1980, pp 308-320.

Mariotti A., 1997- Quelques réflexions sur le cycle biogéochimique de l'azote dans les agrosystèmes. In: Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes pp. 9-22.

Mary B ., Justes., 2001- La fourniture d'azote par les matières organiques Colloque GEMAS-COMIFER. 5èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre Blois 27-29 Novembre.

Mashali AM., 1996 – Soil management practices for gypsiferous soils. : A review. Proc. Int. Symposium on soils with gypsum. Lleida, 15-21 sep. Edicions Universitat de Lleida. Lleida, Spain, 203p.

Mathieu C., Pieltain F., 2003 - Analyse chimique des sols. Méthodes choisies. La voisier, 317p.

Minette S., 2011 - Caractéristiques des principales cultures intermédiaires. Références disponibles pour la région Poitou-Charentes. Agricultures et territoires, chambre d'agriculture Poitou-Charentes. 56p.

Monem Balba A., Sheta TH., 1973 - Nitrogen balance sheet of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -gypsum pellets and mixtures and ureaformaldehyde applied to corn in pots of sand. Plant and soil, Volume 39, Issue 2, pp 293-302.

Morel R., 1996 - Les sols cultivés. . 2^{ème} édition, Lavoisier, Paris, 384p.

Morot-Gaudry JF., 1998 - Assimilation de l'azote chez les plantes aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Edition Quae, INRA, 422p.

Mousli OF., 1980 – Methods of evaluation and classification of gypsiferous soils and suitability for irrigated agriculture. In : Proceeding of the 3rd International Soil Classification Workshop (ED.FH. Beinroth and A. Osman). The arab center for studies of the Arid Zones and Dry Land (ACSAD). Damascus, Syria. pp 278-307.

N'Dayegamiye A., Girous M., Royer R., 2004 - Epanchage d'automne et de printemps de divers fumiers et boues mixtes de papetière : coefficient d'efficacité de l'azote et de nitrates dans le sol. *Agrosol* 15 (2) : pp 97- 106.

Nettelton WD., Nelson RE., Brasher BR., Derr PS., 1982 – Gypsiferous soils in the Western United States In: *Soil sciences society of America special publication*, N°10, pp 147-168.

Nicolardot B., Mary B., Houot S., Recous S., 1996 - La dynamique de l'azote dans les sols cultivés in *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes Reins (France)*, 10-20 novembre 1996. Edition INRA .Paris (les colloques, n° 83) pp 87-103.

Norton LD., 1997 – Stopping erosion with gypsum and PAM. *Agricultural research (Washington)*, 45, 9, pp 18- 20.

Pankhanova I., Yamnova IA., 1987 – Forms of gypsic neoformations as determining the gypsic soil melioration properties. *Soviet Soil Science* 6, pp 94 - 102.

Paul W., Beauchamp EG., Zhang X., 1993 - Nitrous and nitric oxide emissions during nitrification and dénitrification from manure-amended soil in the laboratory. *Canadian Journal of Soil Science* 73:pp 539-553.

Pédro G., 2007 – Cycle biogéochimiques et écosystèmes continentaux. Académie des sciences. Rapport sur la science et la technologie N° 27, 227p.

Pelmont J., 2005 - Biodégradations et métabolismes. Les bactéries pour les technologies de l'environnement. EDP sciences édition, 427p.

Perry JJ., Staley JT., Lory S., 2004 - Microbiologie, cours et questions de révision. Dunod, Paris, 891p.

Poch RM., 1989 – Relation between micromorphological and physical characteristics of some gypsiferous soils of the URGELL irrigated area (N-S Spain). M. Sc. Thesis, University Gent, Belgium, 130p.

Poch RM., 1992 a – Fabric and physical properties of soils with gypsic and hypergypsic horizons in the Ebro Valley.phd Thesis, University Gent, Belgium, 285p.

Poch RM., 1992 b – Characteristics of the sand fraction of two hyper-gypsic horizons of « EIPIa d'Urgell » (N-E Spain), *Egypt. J. Soil. Sci.* 32, No. 4, pp 523- 535.

Poch RM., De Coster W., Stoop G., 1998 – Pore space characteristics as indicators of soil behaviour in gypsiferous soils, *Geoderma* volume 87, issues 1- 2, pp 87 -109.

Poch RM., Verplancke H., 1997 – Penetration resistance of gypsiferous horizons. *European Journal of Science*, 48, pp 535-543.

Pochon J., Barjac H., 1958 – *Traité de microbiologie des sols. Application agronomique.* Ed Dunod. Pp 131- 249.

Porta J., 1998 – Methodologies for the analysis and characterization of gypsum in soils: A review. Geoderma volume 87 ; issu 1-2, pp 31-46.

Pouget M., 1968 – Contribution à l'étude des croûtes et les encroûtements gypseux de nappe dans le sud Tunisien. Cah. ORSTOM, Serie. Pedol. 6, pp 309-365.

Pousset J., 2000 - Engrais verts et fertilité des sols. 1^{er} édition. Ed agri décisions 287p.

Prescott LM, John Harley J, Klein D., 2003 – Microbiologie, 2^{ème} ED, Editeur : DE Boeck Supérieur.1137p.

Ramade F., 1994 - Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. 2^{ème} édition Dunod, Paris, 403 p.

Ramade F., 2003 - Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. 3^{ème} édition Dunod, Paris, 674p.

Rankdv., Vasil., 1967- Effect of the application of gypsum and fertilizers on ammonification and nitrification Insalinized soUs. Mikrobiologiya: pp 144-149.

Rao AV., Tarafdar JC., 1998 – Selection of plant species for rehabilitation of gypsum mine spoil in arid zone. Journal of arid environments volume 39, issue 4 pp 59-567.

Rasouli F., Pouya AK., Karimian N., 2013 - Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. Geoderma 246–255.

Raven P., Johnson G., Losos J., Singer S., 2007 - Biologie, 1^{er} edition ISBN Paris, 120p.

Rayan J., Estefan G., Rashid A., 2001 – Soil and plant analysis laboratory manual. Second Edition (ICARDA) Pakistan, Syria (NARC) Pakistan, 172p.

Recous S., Loiseau P., Machet JM., Mary B., 1996 - Transformation et devenir de l'azote de l'engrais sous culture annuelles et sous prairies in Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. Pp: 105-120.

Recous S., Loiseau P., Machet JM., Mary B., 1997 – transformation et devenir de l'azote de l'engrais sous cultures annuelles et sous prairies. Série les colloques de l'INRA, n°83 Paris, pp 105-118.

Renault R., 1958 – Chimie agricole. Tome 2. La biosphère. Ed. Ergolle, Paris, 555p.

Ricklefs RE., Miller G., 2005 - Ecologie. De Boeck universite 858p.

Robert M., 2002 - La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapport sur les ressources en sol du monde, n°96. FAO, 76 p.

Robert., 1996 - Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement. Masson, Paris, 244p.

Rose MR., Mueller LD., 2006 - Evolution and ecology of the organism. 1st Ed Pearson, prentice hall, 693p.

Schreiber B., Schreiber E., 1977 – The salt that was. *Geology* .5 pp 527-528.

Schvartz C., Muller JC., Deroux., 2005 - Guide de la fertilisation raisonnée. Grandes cultures et prairies. Edition France agricole 414p.

Shahi HN., Maskina MS., Gill PS., 1978 - Effect of different levels of gypsum application on soil characteristics and growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Soil and plant*, Volume 49, Issue 2, pp 437-442.

Silva EC., Miranda JRP., Alvarenga MAR., 2002 – Yield and nutrient concentration of tomato plants pruned and grown under high planting density and relation to phosphorus, gypsum and nitrogen sources. *Horticultura Brasileira*, 19 pp 64 - 69.

Singh BR., Taneja SN., 1977 – Effects of gypsum on mineral nitrogen status in alkaline soils. *Plant and soil* 48, 35-321.

Smith R., Robertson VS., 1962 – Soil irrigation classification of shallow soils overlying gypsum beds, northern Iraq. *Journal of soil science* 13: pp 106-115.

Soltner^a D., 2005 - Les bases de la production végétale. Tome I: le sol et son amélioration. 24^e édition. Collection sciences et techniques agricoles. 472p.

Soltner^b D., 2005 - Les bases de la production végétale. Tome III. La plante et son amélioration. 4^{ème} édition. Collection sciences et techniques agricoles. 304p.

Sonnenfeld P., 1984 – Brines and evaporiter. Academic Press. 613p.

Stenget P., Gelin S., 1998 - Sol interface fragile. INRA, Paris, 213p.

Stoops G., Ilaivi M., 1981 – Gypsum in arid genesis proceeding third international soil classification workshop damascus, pp 175- 185.

Stryer L., 1995 - La biochimie. 4^{ème} édition. Médecine – sciences Flammarion 1065P.

Stuart Chapin III F., Pamela A., Matson., Harold A., Mooney., 2002 - Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer-verlag New york. Inc. 436p.

Sykes AG., Cammack R., 1992 - Advances in inorganic chemistry. Iron, sulphur, proteins. Edition academic press, 487p.

Toomanian N., Jalalian A., Karimian Eghbal A., 2001- Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. *Geoderma* volume 99, issues 3-4, pp 199-224.

Torrijos M., Bernet N., 2002- Traitements biologiques aérobies. In: R. Moletta (Editeur), *Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires*. pp 181 – 222.

Tortora GJ., Funke BR., Case CLm., 2003 - Introduction à la microbiologie. Edition renouveau pédagogique INC. 945p.

Trichet J., 1963 – Description d'une forme d'accumulation du gypse par voie éolienne dans le sud tunisien. Bull.Soc.Géol. Fr, pp 617-628.

Van Alphen JG., Los Rios Romero F., 1971 – Gypsiferous soils. Notes on their characteristics and management. Bulletin 12, International institute for land reclamation and improvement. Wageningen, The Netherlands, 44p.

Verba MP., 1996 – The forms of gypsum neoformations in the soils of Central Asian Deserts in : A review. Proc. Int. Symposium on soils with gypsum. Lleida, 15-21 sep. Edicions Universitat de Lleida. Lleida, Spain, 203p.

Vieillefon J., 1979 – Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux. Cah. ORSTOM, Sér Pédol. XVII 3, pp. 195-223.

Vong PC., Bouchama J., Jacquin F., 1989 - Contribution à l'étude du potentiel de minéralisation de l'azote en sols cultivés lorrains Rev : Science du sol-Vol 27-3 p 215-226.

Watson A., 1980 – Végétation polygon in Central Namib Desert, Madogua Serie 11-12.

Watson A., 1983 – Gypsum crusts. In Goudie AS., Pye K., Editors 1983. Chemical sediments and geomorphology. Academic press. London, pp 92-123.

Watson A., 1985 – Structure, Chemistry and origin of gypsum in of in southern Tunisia and in central Namib Desert. Sedimentology 32, pp 855-875.

Watson A., 1988 – Desert gypsum crusts as paleoenvironmental indicators: Amicrophotographic study of crusts from southern Tunisia and the Central Namib Desert. Journal of arid environments 15, pp 19- 42.

Whitfield DM., Smith CJ., Gyles OA., Wright GC., 1989 - Effects of irrigation, nitrogen and gypsum on yield, nitrogen accumulation and water use by wheat. *Field Crops Res.*, 20: 261- 277.

Williams BL., Sparling GP., 1984 - Extractable N and P in relation to microbial biomass in UK acid organic soils. Plant Soil 76: 139-148.

Zehr JP., Kudela RM., 2011 - Nitrogen cycle of the open ocean: from genes to ecosystems. Ann Rev Mar Sci. 2011; 3:197–225.

Zia MS., Aslam M., Rahmatullah., Arshad M., Tahira A., 1999 - Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers with and without gypsum. Soil Use and Management, Volume 15, Issue 2, pages 133–135, June 1999.

Annexes

Annexe 01 : Exemple de calcul des teneurs du gypse et du fumier**Le gypse**

G₅: 5% de gypse (CaSO₄.2H₂O)

100g de sol → 5% de gypse pur

700g de sol → x

$$x = 5 \times 700/100 = 35\text{g de gypse}$$

100g de minerai → 73,435 g de gypse

y → 35g

$$y = 35 \times 100/73,435 = 47,66 \text{ g de gypse broyé/ pot}$$

Fumier**Fumier volailles**

V₁= 2,5% de matière organique

100g de sol → 2,5g de matière organique

700g → x

$$x = 17,5 \text{ g de MO}$$

100g de fumier → 52,22 g de MO

Y → 17,5g

$$y = 17,5 \times 100/52,22 = 33,51 \text{ g de fumier/pots}$$

Fumier ovin

D₁= 2,5% de matière organique

100g de sol → 2,5g de MO

700g → x

$$x = 17,5\text{g de MO}$$

100g de fumier → 65,20 g de MO

y → 17,5

$$y = 17,5 \times 100/65,22 = 26,84\text{g de fumier/pot}$$

Annexe 02 : Traitements utilisés dans le dispositif expérimental.

Traitement	Gypse en g	Fumier en g	Sol en g
Témoin sans gypse et sans fumier (G ₀ D ₀) (G ₀ V ₀)	0	0	700
Gypse + sans fumier			
(G ₅ D ₀)(G ₅ V ₀)	47,66	0	652,34
(G ₁₀ D ₀)(G ₁₀ V ₀)	95,322	0	604,678
(G ₂₀ D ₀)(G ₂₀ V ₀)	190,644	0	509,356
(G ₄₀ D ₀)(G ₄₀ V ₀)	381,289	0	318,711
(G ₆₀ D ₀)(G ₆₀ V ₀)	571,934	0	128,066
Fumier ovin (D ₁ , D ₂)			
(G ₀ D ₁)	0	26,84	673,16
(G ₀ D ₂)	0	53,68	646,32
(G ₅ D ₁)	47,66	26,84	625,50
(G ₅ D ₂)	47,66	53,68	598,66
(G ₁₀ D ₁)	95,322	26,84	577,838
(G ₁₀ D ₂)	95,322	53,68	550,998
(G ₂₀ D ₁)	190,644	26,84	482,516
(G ₂₀ D ₂)	190,644	53,68	455,676
(G ₄₀ D ₁)	381,289	26,84	291,871
(G ₄₀ D ₂)	381,289	53,68	265,031
(G ₆₀ D ₁)	571,934	26,84	101,226
(G ₆₀ D ₂)	571,934	53,68	74,386
fumier volaille (V ₁ , V ₂)			
(G ₀ V ₁)	0	33,51	666,49
(G ₀ V ₂)	0	67,02	632,98
(G ₅ V ₁)	47,66	33,51	618,83
(G ₅ V ₂)	47,66	67,02	585,32
(G ₁₀ V ₁)	95,322	33,51	571,168
(G ₁₀ V ₂)	95,322	67,02	537,658
(G ₂₀ V ₁)	190,644	33,51	475,846
(G ₂₀ V ₂)	190,644	67,02	442,336
(G ₄₀ V ₁)	381,289	33,51	285,201
(G ₄₀ V ₂)	381,289	67,02	251,691
(G ₆₀ V ₁)	571,934	33,51	94,556
(G ₆₀ V ₂)	571,934	67,02	61,046

Annexe 03: Photo du lieu de l'expérimentation



Annexe 04: Photo du dispositif expérimental



Annexe 06 : Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) de l'analyse de variance de l'effet moyen du gypse et du fumier sur l'azote ammoniacal dans le sol.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes	
G5*V 2	53,110	A	
G5*V1	48,024	B	
G5*D2	44,352	C	
G0*V 2	43,168	D	
G5*D1	38,676	E	
G10*V2	37,606	F	
G0*V1	34,986	G	
G0*D2	33,610	H	
G20*V 2	31,780	I	
G10*V1	30,460	J	
G0*D1	29,672	J	
G10*D2	28,636	K	
G5*D0V0	25,314	L	
G40*V 2	24,888	L	
G20*V1	24,878	L	
G10*D1	24,740	L	
G20*D2	23,912	M	
G0*D0V0	21,080	N	
G60*V 2	20,522	N	
G40*V1	20,338	N	
G40*D2	20,086	N	
G20*D1	18,148	O	
G10*D0V0	16,382	P	
G40*D1	16,352	P	
G60*V1	14,844	Q	
G20*D0V0	12,400	R	
G60*D2	12,332	R	
G60*D1	10,760	S	
G40*D0V0	10,182	S	
G60*D0V0	6,736	T	

Annexe 08: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) de l'analyse de variance de l'effet moyen du gypse et du fumier sur le rendement en matière sèche aérienne.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes				
G5*V 2	2,754	A				
G5*V1	2,640	A				
G5*D2	2,260		B			
G5*D1	2,184		B	C		
G0*V 2	2,142		B	C		
G0*V1	2,076		B	C	D	
G0*D2	1,842		B	C	D	E
G0*D1	1,782			C	D	E
G5*D0V0	1,672				D	E
G0*D0V0	1,572					E
G10*V2	0,774					F
G20*V 2	0,738					F
G10*V1	0,728					F
G40*V 2	0,700					F
G10*D2	0,698					F
G20*V1	0,676					F
G10*D1	0,668					F
G40*V1	0,654					F
G10*D0V0	0,642					F
G20*D2	0,626					F
G40*D2	0,616					F
G60*V 2	0,592					F
G20*D1	0,586					F
G60*V1	0,582					F
G20*D0V0	0,570					F
G60*D2	0,530					F
G40*D1	0,512					F
G60*D1	0,506					F
G40*D0V0	0,482					F
G60*D0V0	0,466					F

Annexe 10 : Classement des groupes homogènes (Test Newmen- Keuls au seuil 5%) de l'analyse de variance de l'effet moyen du gypse et du fumier sur de la vitesse de croissance.

Modalités	Moyennes		Groupes		
	estimées				
G5*V2	91,796	A			
G5*V1	82,596	A	B		
G5*D2	75,330	A	B		
G5*D1	72,798	A	B		
G0*V2	71,798	A	B		
G0*V1	69,194	A	B		
G0*D2	61,396		B		
G0*D1	59,398		B		
G5*D0VO	55,730		B		
G0*D0VO	52,396		B	C	
G10*V2	25,798			C	D
G20*V2	24,598			C	D
G10*V1	24,264			C	D
G40*V2	23,330			C	D
G10*D2	23,266			C	D
G20*V1	22,528			C	D
G10*D1	22,262			C	D
G40*V1	21,796			C	D
G10*D0VO	21,396			C	D
G20*D2	20,864			C	D
G40*D2	20,532			C	D
G60*V2	19,730			C	D
G20*D1	19,530			C	D
G60*V1	19,398			C	D
G20*D0VO	19,198			C	D
G60*D2	17,662			C	D
G40*D1	17,064			C	D
G60*D1	16,862			C	D
G40*D0VO	16,064				D
G60*D0VO	15,532				D

Annexe 13 : Température moyenne °C durant l'expérience.

Mois	Septembre 2013	Octobre 2013	Novembre 2013	Décembre 2013	Janvier 2014	Février 2014
1	28,7	30	20,2	9,9	8,8	12,8
2	28,6	30,4	20,4	9,7	9,5	13,5
3	29,4	30,7	18,8	12,8	11,9	10
4	28,6	30,6	20,5	13,9	12,3	10,3
5	29,9	30,8	23,8	14,4	12,8	10,7
6	33,1	27,7	24,9	13,6	14,7	15,7
7	35,1	25,1	22,9	12,5	12,1	15,6
8	34,3	25,4	21,4	11	11,7	13,9
9	34,1	24,3	21,2	11,6	11,4	
10	31,7	23,9	21,7	12,4	10,7	
11	31,3	24,6	19,8	13,1	12,4	
12	31,4	28,9	18,1	11,2	14,9	
13	29,2	28,6	20	9,8	15	
14	29,1	28,2	19,7	10,7	13,5	
15	31,7	27,2	18	11,1	13,3	
16	33,6	28,8	17,9	10,3	11,9	
17	33,3	27,4	19,8	10,6	13,6	
18	29	27,3	16	11,2	12,8	
19	25,1	27,3	15,4	11,8	12,6	
20	26,1	26,8	15	11,9	11,6	
21	25,6	25,1	13	16,3	9,6	
22	25,9	23,6	11,5	15,8	8,9	
23	26	23,6	13,7	15	12,3	
24	26,9	24,8	12,4	13,4	13,5	
25	27,3	24,1	13,1	12	14,7	
26	28,3	23,8	13,9	12,8	17,9	
27	29,8	24,2	12,2	13,2	15,9	
28	31,2	22,7	10,9	12,2	14	
29	30,3	21,3	11,8	12,9	11,5	
30	28,4	21,5	11,2	11	14,2	
31	28,7	20,6		9,5	13,7	

EVALUATION DE L'EFFET DU GYPSE SUR LA DYNAMIQUE DE L'AZOTE ET LA PRODUCTION DE LA MATIERE SECHE CHEZ LE RAY GRASS EN PRESENCE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES

EVALUATION OF THE EFFECT OF GYPSUM ON THE DYNAMICS OF NITROGEN AND ON THE PRODUCTION OF DRY MATTER OF A RYEGRASS IN PRESENCE OF ORGANIC AMENDMENTS

F. HIOUANI⁽¹⁾, M. DEBABECHE⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratoire de recherche en diversité des écosystèmes et dynamiques des systèmes de production agricoles en zones arides. Université de Biskra, Algérie

⁽²⁾Laboratoire de recherche en Génie civil, Hydraulique, Développement durable et Environnement. Université de Biskra, Algérie

RESUME

La présente étude a pour objet de déterminer l'effet du gypse sur la dynamique de l'azote et la production de la matière sèche d'une plante fourragère, le ray grass d'Italie. L'expérimentation a été effectuée sur un sol pauvre en gypse et en calcaire. En effet, Trente six (36) traitements, disposés selon un dispositif split-plot à trois répétitions dans lesquelles trois doses de matière organique des deux types de fumiers : fumier volaille et fumier ovin et six taux de gypse (0, 5, 10, 20, 40, 60%), ont été testés.

Les résultats obtenus ont montré que l'augmentation du taux de gypse au-delà de 5% provoque une diminution du poids de la matière sèche aérienne et racinaire, une faible minéralisation de l'azote et une faible quantité d'azote dans la plante.

En outre, la dose V2 du fumier volaille et le traitement G5V2 ont enregistré les plus bons résultats avec tous les paramètres étudiés.

MOTS CLES: gypse, matière sèche, azote, dynamique.

ABSTRACT

The present study aims to determine the effect of gypsum on the dynamics of nitrogen and on the production of dry matter of Italian ryegrass forage. The experiment was carried out on poor soil gypsum and limestone.

Indeed, thirty six (36) treatments, arranged in split plot design with three replications in which three doses of organic matter of two types of manure: poultry manure and sheep manure and six rates of gypsum (0, 5, 10, 20, 40, 60%), were tested.

The results obtained showed that the increased rate of gypsum, greater than 5%, causes a decrease of the weight of aerial dry matter and roots, low nitrogen mineralization and a small amount of nitrogen in the plant. Furthermore, the V2 dose of poultry manure and the treatment G5V2 are registered the most good results with all studied parameters.

KEYWORDS: gypsum, dry matter, nitrogen, dynamic.

1 INTRODUCTION

Le gypse est une source modérément soluble des nutriments essentiels, le calcium et le soufre pour les plantes (Dick et al, 2008 in Rasouli et al, 2013). Selon les auteurs (Whitfield et al, 1989 ; Rasouli et al, 2013), il existe une relation entre le gypse disponible et la vitesse d'absorption des éléments

nutritifs par la plante. Une teneur élevée en gypse affecte la mobilité et la disponibilité de P, K, Mg, Fe, Mo, Zn pour les plantes (Florea et Al- Joumaa, 1998) et diminue la croissance et les rendements des cultures (Mashali, 1996 ; Cairns et al, 1981). Son effet dépend de plusieurs facteurs tels que sa nature, la solubilité des éléments nutritifs, leur

forme, leur distribution horizontale et verticale et l'emplacement des couches de gypse dans le profil (Mashali, 1996). Dans les sols non-sodiques, l'addition des composés de calcium a montré leur influence sur la biomasse microbienne du sol (Carter, 1986). Les changements dans la disponibilité d'azote dans le sol pour la croissance des plantes se produisent à la fois par des changements dans les conditions du sol et des taux de décomposition microbienne de la litière végétale (Pastor et Naiman, 1992 in Wilson et Jefferies, 1996).

Al Rawi et al (1983) ont annoncé que le millet a montré une grande réponse aux engrais organiques dans les sols gypseux. Ces engrais ont amélioré le taux d'humidité disponible et diminué la solubilité du gypse.

Différentes études ont été effectuées sur l'influence du gypse sur la croissance et le rendement des végétaux sous différentes conditions (Shahi et al, 1978 ; Mathur et al, 1983 ; Whitfield et al, 1989 ; Messenger et al, 2000 ; Rasouli et al, 2013), mais de nombreuses questions restent en suspens, jusqu'à aujourd'hui ; on effet, nous ne disposons pas encore de connaissances suffisantes sur l'influence du gypse sur la dynamique de l'azote et la

pH (1/2,5)	CE dS/m (1/5)	Calcaire total %	Gypse %	CEC meq/100g	MO %	Texture			P total ppm
						S%	L%	A%	
6,71	0,2	0	0	18,34	0,33	52,52	37,35	10,13	117

2.1.2 Le gypse

Le minerai de gypse utilisé dans cette expérience a été apporté sous sa forme brute de l'usine de plâtre d'Ouled Djalal, située à 80 Km à l'Est du chef lieu de la wilaya de Biskra. Il a été ensuite broyé à l'aide d'un broyeur jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Son analyse a montré qu'il contient 73,43% de gypse pur.

2.1.3 Amendements organiques

Deux types d'amendements organiques ont été utilisés dans ce travail : un fumier ovin et un fumier de volailles. Le fumier ovin se caractérise par un taux de carbone organique de 37,91%, un taux d'azote de 1,80% et un rapport C/N de 21,06. En outre le fumier de volailles se caractérise par un taux de carbone organique de 30,36%, un taux d'azote de 2,23% et un rapport C/N de 13,61.

2.1.4 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est le ray grass d'Italie (*Lolium multiflorum*). C'est une plante herbacée annuelle de la famille des poacées, couramment cultivée comme plante fourragère. Elle est choisie pour cette étude parce qu'elle répond très bien à la fertilisation et repousse rapidement après des coupes successives (Lemaire, 1977).

production de biomasse végétale. C'est pourquoi, nous avons simulé ce processus de corrélations que pourrait induire le gypse sur la dynamique de l'azote et la production de biomasse végétale dans des conditions semi contrôlées en présence d'amendements organiques.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MATERIELS

2.1.1 Le sol

Le sol utilisé dans ce travail est apporté de la région de Bazoul, située à 15 Km à l'Est du chef lieu de la wilaya de Djijel sur les coordonnées géographiques 36° 48' 64 N 5° 45' 44 E, à 932 m au dessus de la mer. Il se caractérise par une texture limono-sableuse, un pH (1/2,5) neutre avec 6,71, une conductivité électrique (1/5) de 0,2 dS/m ; il est non salé, et ne contient pas de calcaire ni de gypse (tableau 01).

Tableau 01 : Caractéristiques physico-chimiques du sol étudié.

2.2 Protocol expérimental

Les essais ont été réalisés dans des pots en plastiques de 1 Kg, mesurant 13 cm de hauteur, avec un diamètre de 15 cm à l'ouverture et 10 cm à la base.

Dans chaque pot, il a été introduit 700 g de mélange (sol, gypse, fumier). Six doses de gypse ont été testées (G0=0% ; G5=5% ; G10=10% ; G20=20% ; G40=40% ; G60= 60%) et trois doses de matière organique des deux types de fumier; un fumier ovin (D0= 0% MO ; D1= 2,5% MO ; D2= 5%MO) et un fumier de volaille (V0= 0% MO ; V 1= 2,5% MO ; V 2= 5%MO). Le dispositif expérimental utilisé est le split-plot avec 36 traitements à raison de trois répétitions. Le facteur principal est la dose du gypse et les facteurs secondaires sont le type et la dose du fumier (tableau 2).

Tableau 2 : Dispositif expérimental

B1		B2		B3	
G ₂₀ V ₀	G ₂₀ D ₀	G ₅ D ₁	G ₅ V ₁	G ₄₀ V ₂	G ₄₀ D ₂
G ₁₀ V ₀	G ₁₀ D ₀	G ₀ D ₁	G ₀ V ₁	G ₂₀ V ₂	G ₂₀ D ₂
G ₅ V ₀	G ₅ D ₀	G ₁₀ D ₁	G ₁₀ V ₁	G ₀ V ₂	G ₀ D ₂
G ₀ V ₀	G ₀ D ₀	G ₆₀ D ₁	G ₆₀ V ₁	G ₅ V ₂	G ₅ D ₂
G ₄₀ V ₀	G ₄₀ D ₀	G ₂₀ D ₁	G ₂₀ V ₁	G ₆₀ V ₂	G ₆₀ D ₂
G ₆₀ V ₀	G ₆₀ D ₀	G ₄₀ D ₁	G ₄₀ V ₁	G ₁₀ V ₂	G ₁₀ D ₂

G ₂₀ V ₂	G ₂₀ D ₂		G ₅ D ₀	G ₅ V ₀		G ₄₀ V ₁	G ₄₀ D ₁
G ₁₀ V ₂	G ₁₀ D ₂		G ₀ D ₀	G ₀ V ₀		G ₂₀ V ₁	G ₂₀ D ₁
G ₅ V ₂	G ₅ D ₂		G ₁₀ D ₀	G ₁₀ V ₀		G ₀ V ₁	G ₀ D ₁
G ₀ V ₂	G ₀ D ₂		G ₆₀ D ₀	G ₆₀ V ₀		G ₅ V ₁	G ₅ D ₁
G ₄₀ V ₂	G ₄₀ D ₂		G ₂₀ D ₀	G ₂₀ V ₀		G ₆₀ V ₁	G ₆₀ D ₁
G ₆₀ V ₂	G ₆₀ D ₂		G ₄₀ D ₀	G ₄₀ V ₀		G ₁₀ V ₁	G ₁₀ D ₁
G ₂₀ V ₁	G ₂₀ D ₁		G ₅ D ₂	G ₅ V ₂		G ₄₀ V ₀	G ₄₀ D ₀
G ₁₀ V ₁	G ₁₀ D ₁		G ₀ D ₂	G ₀ V ₂		G ₂₀ V ₀	G ₂₀ D ₀
G ₅ V ₁	G ₅ D ₁		G ₁₀ D ₂	G ₁₀ V ₂		G ₀ V ₀	G ₀ D ₀
G ₀ V ₁	G ₀ D ₁		G ₆₀ D ₂	G ₆₀ V ₂		G ₅ V ₀	G ₅ D ₀
G ₄₀ V ₁	G ₄₀ D ₁		G ₂₀ D ₂	G ₂₀ V ₂		G ₆₀ V ₀	G ₆₀ D ₀
G ₆₀ V ₁	G ₆₀ D ₁		G ₄₀ D ₂	G ₄₀ V ₂		G ₁₀ V ₀	G ₁₀ D ₀

La densité de semis utilisée est 12Kg/ha, ce qui correspond à 3mg/pot. Au stade de trois feuilles, les plants ont été élagués afin de conserver le même nombre de plants à chaque pot. Le semis a été réalisé le 08 septembre 2013. Les graines ont été réparties d'une façon homogène sur la surface du pot, puis enfouies à une profondeur de 2 cm (Minette, 2011).

Deux types d'engrais ont été utilisés pour la fertilisation de la culture ; le phosphore sous forme triple superphosphate TPS à raison de 90 U/ha, et le potassium sous forme de sulfate de potassium à raison de 100 U/ha à la mise en place (FERTIAL, 2010). Les engrais ont été finement broyés pour améliorer leur solubilité et leur homogénéité avec le sol.

Les essais ont été conduits en conditions semi-contrôlées. Les plantes ont été exposées aux conditions climatiques normales mais protégées de la pluie. L'irrigation des pots a été faite par arrosage manuel. L'humidité a été conservée proche de celle de la capacité de rétention. L'eau d'irrigation est caractérisée par une CE de 1.1 dS/m, pH 7.78 et une teneur en NO₃ de 0.45 meq/l.

La mesure du poids de la partie sèche aérienne, l'analyse de l'azote total dans la plante et l'azote minéral dans le sol, ont été réalisées après chaque coupe (30, 60, 90, 120 et 150 jours de l'expérience). En outre la mesure du poids sec de la partie racinaire a été faite à la fin de l'expérience.

2.2.1 Analyse statistique

L'analyse statistique a été faite à l'aide du logiciel XL Stat qui permet d'effectuer l'analyse de la variance (ANOVA) pour les différents traitements. Les tests de comparaison des moyennes ont été effectués selon la méthode de Newman-Keuls. Les niveaux de signification des traitements ont été déterminés à un niveau de probabilité de 0,05.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Effet du gypse sur l'évolution de l'azote minéral dans le sol en présence des amendements organiques

L'examen de la figure 01, montre que la quantité la plus élevée en azote minéral est enregistrée avec la dose 5% en gypse. En outre elle diminue avec l'augmentation du taux de gypse à partir de 10%. Aussi nous remarquons une bonne minéralisation de l'azote dans le sol qui contient le fumier volaille que le sol qui contient le fumier ovin. La dose V2 a enregistré une meilleure minéralisation que la dose V1. Ensuite, elles sont suivies par la dose D2 puis D1 par rapport au témoin. Ceci est peut être expliqué par la richesse du fumier volaille en azote que le fumier ovin. Ces résultats sont confirmés par l'analyse statistique (tableau 03 et 04). La minéralisation de l'azote est enregistrée avec le traitement G5V2.

D'après N'Dayegamiye et al, l'efficacité fertilisante de l'azote dépend de la teneur en cet élément de l'amendement ou engrais apporté. Plus le rapport C/N d'un amendement organique est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol et, par conséquent, plus le processus de minéralisation de N organique est lent (Kende, 2010). Janssen (1996) a trouvé une relation linéaire négative entre la quantité d'N organique minéralisable et le rapport C/N du sol.

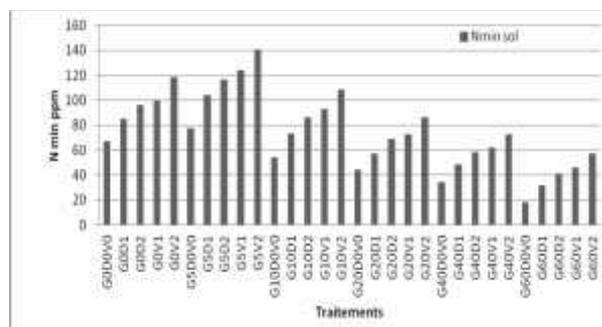


Figure 1: Evolution de l'azote minéral en fonction du taux de gypse en présence des amendements organiques.

Tableau 03: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du gypse sur la quantité moyenne l'azote minéral.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
5%	112,606	A
0%	93,09	B
10%	82,923	C
20%	65,715	D
40%	55,089	E
60%	39,830	F

Tableau 04: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du fumier sur la quantité moyenne l'azote minéral.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V2	97,414	A
V1	83,044	B
D2	77,954	C
D1	66,769	D
D0V0	49,197	E

3.2 Effet du gypse sur la teneur en azote total du ray-grass en présence des amendements organiques

L'analyse de la figure 02 révèle que, la quantité la plus élevée en azote total dans la partie aérienne de la plante est enregistrée avec la dose 5% en gypse, ceci est la conséquence d'une bonne minéralisation de l'azote organique du sol avec cette dose en gypse. Par contre une diminution dans cette quantité est enregistrée avec l'augmentation du taux de gypse à partir de 10%. La quantité absorbée par la plante est proportionnelle à la quantité libérée dans le sol ($r = 0,81$).

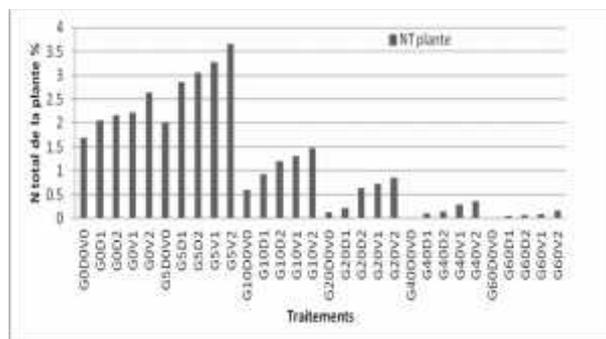


Figure 02: Evolution de l'azote total de la plante en fonction du taux de gypse en présence des amendements organiques.

L'analyse statistique confirme que l'augmentation du taux du gypse dans le sol au-delà de 5%, influence négativement la teneur en azote de la plante (tableau 05).

En outre la quantité la plus élevée en azote dans la plante est enregistré avec la dose V2. En général elles sont classées selon la quantité d'azote dans la plante comme suit $V2 > V1 > D2 > D1 > D0V0$. Donc le fumier volaille a enregistré les quantités les plus élevées en azote dans la partie aérienne du ray grass d'Italie. L'analyse statistique témoigne ce résultat (tableau 06).

En outre la quantité la plus élevée en azote dans la partie aérienne du ray grass d'Italie est enregistré avec le traitement G5V2.

Machet et al, (1987) ont mentionnées que, lorsque l'azote minéral augmente dans le sol, la quantité d'azote dans la plante croît proportionnellement à la quantité apportée.

La minéralisation de l'azote dépend fortement des conditions thermiques et hydrologiques du milieu, ainsi que

de la présence de substrats de qualité, capables de fournir aux micro-organismes les nutriments et l'énergie nécessaire (Kara.Mitcho et al, 2004).

La présence des concentrations élevé en Ca^{+2} et en SO_4^{-2} dans la solution du sol diminué le prélèvement d'autres ions tels que K, Mg, Fe, Cu, Zn, P, NO_3 , ceci traduit par une pression osmotique élevée qui réduit l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs par la plante (Mashali, 1996).

Tableau 05: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du gypse sur la quantité moyenne d'azote total dans la plante.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
5%	2,967	A
0%	2,150	B
10%	1,104	C
20%	0,511	D
40%	0,187	E
60%	0,075	F

Tableau 06: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du fumier sur la quantité moyenne d'azote total dans la plante.

Modalités	Moyennes estimées	Groupes
V2	1,520	A
V1	1,316	B
D2	1,209	C
D1	1,036	D
D0V0	0,748	E

3.3 Effet du gypse sur le rendement en matière sèche de la biomasse aérienne en présence des amendements organiques

Le poids le plus élevé en matière sèche aérienne a été enregistré avec le taux 5% en gypse alors que le poids le plus faible de cette matière a enregistré avec le taux 60% en gypse. L'analyse statistique (tableau 07) confirme ces résultats. L'augmentation du taux de gypse au-delà de 5% provoque la diminution de la matière sèche aérienne. Le coefficient de corrélation entre le taux de gypse et la quantité de la matière sèche aérienne est négatif et élevé ($r = -0,73$).

Les quantités enregistrées avec les doses 10, 20, 40 et 60% sont toutes inférieures à la quantité produite par le système témoin, qui ne contient pas de gypse (fig.03). Le calcium et les sulfates libérés par le gypse sont indispensables à la nutrition et la croissance des plantes mais leur présence avec des taux élevés provoque l'augmentation de la pression osmotique et conduit à une toxicité spécifique par ces éléments.

D'après Cairns et al (1981), la réduction de la croissance de la plante, où le gypse est appliqué, a été associée à des changements probables de l'activité microbienne et à l'immobilisation de l'azote. Dans les sols sableux à haute teneur en gypse (25-50%), toutes les cultures ont été touchées mais l'oignon et la luzerne ont donné des bons rendements (Mashali, 1996).

Tableau 07: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du gypse sur le rendement moyen en matière sèche aérienne.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
5%	2,302	A
0%	1,883	B
10%	0,702	C
20%	0,639	C
40%	0,593	C
60%	0,535	C

Pour l'effet de la dose de fumier ovin sur la production de la matière sèche aérienne, les résultats enregistrés montrent que le taux de la matière sèche aérienne le plus élevé est enregistré avec la dose D2 suivie par la dose D1 par rapport au témoin. L'augmentation de la dose de fumier ovin provoque une augmentation de la quantité de la matière sèche aérienne. Leur taux de corrélation est de ($r = 0,97$).

Pour ce qui est de l'effet de la dose du fumier volaille sur la production de la matière sèche aérienne, la dose V2 a enregistré le taux le plus élevé en matière sèche aérienne par rapport au autres doses. De son coté, la dose V1 a enregistré une quantité de matière sèche aérienne supérieure à celle enregistrée par le témoin (D0V0). Ainsi on peut conclure que la production de la matière sèche aérienne augmente avec l'augmentation de la dose du fumier volaille. L'étude statistique a montré une corrélation forte et positive entre ces deux derniers ($r = 0,92$).

Comparativement au fumier ovin, la dose V2 du fumier volaille a enregistré la quantité la plus élevée en matière sèche aérienne. L'analyse statistique confirme que la dose V2 a donné le meilleur rendement en matière sèche aérienne alors que la dose D1 donne un rendement faible par rapport au témoin (tableau 08). Ceci s'explique par la richesse de la dose V2 en matière organique et sa minéralisation qui libère plus d'azote et d'éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante que les autres doses. En outre le fumier volaille ayant un rapport C/N faible avec 13,61 ; se décompose plus rapidement que le fumier ovin qui possède un rapport C/N élevée ($C/N = 21,06$).

Aussi le traitement G5V2 a enregistré le meilleur rendement en matière sèche aérienne.

Silva et al. (2002) ont noté une augmentation linéaire du rendement en fruit de la tomate dans les sols à faible taux de gypse avec un apport d'engrais azoté, puis une

diminution linéaire de la matière sèche aérienne (feuilles et fruits) suite à l'augmentation du taux de gypse à partir de 22% de gypse.

Tableau 08: Classement des groupes homogènes (test Newman Keuls à 5%) pour l'effet du fumier sur le rendement moyen en matière sèche aérienne.

Modalités	Moyennes estimés	Groupes
V2	1,283	A
V1	1,226	A B
D2	1,095	B C
D1	1,040	C
D0V0	0,901	D

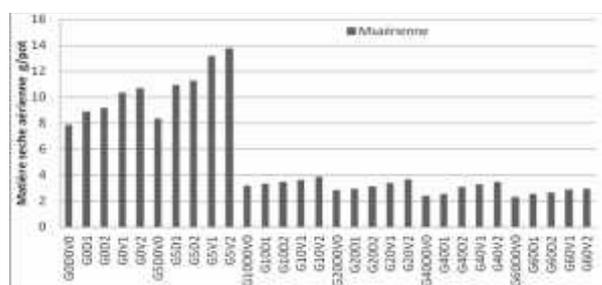


Figure 03: Evolution de la matière sèche de la partie aérienne en fonction du taux de gypse en présence des amendements organiques.

3.4 Effet du gypse sur le taux de la matière sèche racinaire du ray grass en présence des amendements organiques

L'évolution de la matière sèche de la biomasse racinaire en fonction du taux de gypse et sous l'effet de deux types d'amendements, un fumier ovin et un fumier volaille (fig. 04), montre que le meilleur rendement en matière sèche racinaire est enregistré avec une dose 5% de gypse. La dose 0% de gypse vient en deuxième position. Les faibles rendements en matière sèche de la biomasse racinaire sont enregistrés avec les taux 10, 20, 40 et 60%. Le coefficient de corrélation entre le taux de gypse et le rendement en matière sèche racinaire est négatif et fortement corrélé ($r = -0,99$). La dissolution des taux élevés en gypse, augmente la pression osmotique dans la solution du sol, et inhibe la plante d'absorber l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leur développement.

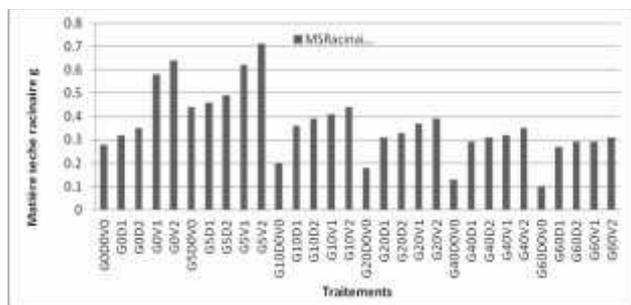
Les meilleurs rendements en matière sèche de la biomasse racinaire sont enregistrés pour le fumier volaille avec la dose V2 suivie par la dose V1 devant ceux obtenus par l'utilisation du fumier ovin avec toutes les doses de gypse. Et que le meilleur rendement en matière sèche racinaire est enregistré avec le traitement G5V2.

Notre expérience nous a permis de constater, pour le fumier ovin que la production de la matière sèche racinaire avec la dose D2, est supérieure à celle produite par la dose D1. Cette dernière est supérieure à la quantité produite par le témoin (dose D0V0). Les rendements en matière sèche racinaire sont fortement corrélés avec la dose du fumier ($r = 0,84$), ce qui indique que l'augmentation de la dose de fumier engendre une augmentation des rendements de la biomasse racinaire. Les mêmes résultats sont enregistrés pour le fumier volaille. La matière organique issue du fumier améliore les propriétés physiques du sol et augmente la réserve en eau et en éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes.

Dans les sols gypseux en Irak, qui ont de plus petites teneurs en matière organique, un taux de gypse entre 10-25% limite le développement des racines, mais lorsque cette teneur est supérieure à 25% dans la zone racinaire, la croissance devient faible (Smith et Robertson, 1962).

Feldhake et al (2001) ont indiqué que la densité racinaire a été affectée par la présence du gypse. Ce dernier peut induire des différences dans l'extraction d'eau et d'éléments minéraux par les plantes. Lorsque le fonctionnement hydrique et minéral des plantes est perturbé par le gypse, la croissance des parties aériennes et souterraines est ralentie.

Aussi la présence excessive du gypse dans la zone active des racines, affecte la teneur et la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes qui représente souvent un rendement réduit (Mashali, 1996).



- Revue suisse Agric.36 (6) :259-264.
- [13] Kende S., 2010 - Minéralisation de l'azote dans deux sols amendés avec deux composts enrichis d'un antibiotique. Mémoire pour l'obtention du grade de Maître es sciences (M.Sc.), l'Université Laval Québec. 76p.
- [14] Lemaire F., 1977- Nouvelles observations sur l'appréciation de la fertilité des sols cultivés au moyen de l'expérimentation en petits vases de végétation. Ann. Agron. 28: 425-444.
- [15] Macht JM., Pierre D., Recous S., Remy JC., 1987 – signification du coefficient réel d'utilisation et conséquences pour la fertilisation azotée des cultures. C.R. Acad Agri. Fr.73, 3, pp 23-39.
- [16] Mashali AM., 1996 – Soil management for gypsiferous soils. : A review. Proc. Int. Symposium on soils with gypsum. Lleida, 15-21 sep. Edicions Universitat de Lleida. Lleida, Spain, 203p.
- [17] Mathur OP ., Mathur SK., Talati NR., 1983- Effect of addition of sand and gypsum to fine-textured salt-affected soils in the yield of cotton and jower (Sorghum) under Rajasthan Canal Command Area Conditions. Plant and soil 74, 61- 65.
- [18] Messenger B J., Menge JA., Pond E., 2000- Effects of gypsum soil amendments on avocado growth, soil drainage, and resistance to *Phytophthora cinnamomi*. Plant Dis. 84:612-616.
- [19] Minette S., 2011 - Caractéristiques des principales cultures intermédiaires. Références disponibles pour la région Poitou-Charentes. Agricultures et territoires, chambre d'agriculture Poitou-Charentes. 56p.
- [20] N'Dayegamiye A., Girous M., Royer R., 2004 - Epannage d'automne et de printemps de divers fumiers et boues mixtes de papetière: coefficient d'efficacité de l'azote et de nitrates dans le sol. Agrosol 15 (2) : 97- 106.
- [21] Rasouli F., Pouya AK., Karimian N., 2013 - Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. Geoderma 246–255.
- [22] Shahi HN., Maskina MS., Gill PS., 1978 - Effect of different levels of gypsum application on soil characteristics and growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Soil and plant, Volume 49, Issue 2, pp 437-442.
- [23] Silva E.C., Miranda J.R.P., Alvarenga M.A.R., 2002 – Yield and nutrient concentration of tomato plants pruned and grown under high planting density end relation to phosphorus, gypsum and nitrogen sources. Horticultura Brasileira, 19, pp 64 - 69.
- [24] Smith R., Robertson V.S., 1962 – Soil irrigation classification of shallow soils overlying gypsum beds, northern Iraq. Journal of soil science 13: pp 106-115.
- [25] Whitfield DM., Smith CJ., Gyles OA., Wright GC., 1989 - Effects of irrigation, nitrogen and gypsum on yield, nitrogen accumulation and water use by wheat. Field Crops Res., 20: 261- 277.
- [26] Wilson D J., Jefferies R L., 1996- Nitrogen mineralization, plant growth and goose herbivory in an Arctic coastal ecosystem. Journal of Ecology, 84, 841-851.

Résumé

La présente étude a pour objet de déterminer l'effet du gypse sur la dynamique de l'azote des amendements organiques et sa cinétique d'absorption par une graminée fourragère; le ray grass d'Italie. L'essai a été réalisé sur un pauvre en gypse et en calcaire. En effet, 36 traitements disposés selon un dispositif split-plot à trois répétitions dans les quels, trois doses des deux types de fumiers ; un fumier volaille et un fumier ovin et six taux de gypse (0, 5, 10, 20, 40, 60%) ont été testés.

Les résultats obtenus ont montré que l'augmentation du taux de gypse au-delà de 5% provoque une diminution de la nitrification, de l'ammonification et de la minéralisation de l'azote, ainsi que sur la diminution du poids de la matière sèche aérienne, racinaire et total et sur la diminution de la vitesse d'absorption de l'azote, la quantité d'azote prélevée par la plante et la vitesse de croissance. Les meilleurs résultats sont enregistrés avec le taux 5% en gypse, et les plus faibles sont enregistrés avec la dose 60% de ce dernier, pour les paramètres précités.

En outre, le traitement G5V2 a enregistré les plus bons résultats avec tous les paramètres étudiés.

Mots clé : gypse, azote, dynamique, amendements organiques, ray grass, cinétique, croissance, absorption.

Abstract

The present study aims to determine the effect of gypsum on nitrogen dynamics of organic amendments and its absorption kinetics by a forage grass; Italian rye grass. The experiment was carried out on a poor soil gypsum and limestone. Indeed, 36 treatments arranged in split plot design with three replications in which three doses of two types of manure; a poultry manure and sheep manure, and six rates of gypsum (0, 5, 10, 20, 40, 60%) were tested.

The results obtained showed that the increased rate of gypsum greater than 5% causes a decrease in the nitrification of ammonification and mineralization of nitrogen, as well as weight reduction of aerial dry matter, roots and the total weight and the rate of absorption of nitrogen, the amount of nitrogen taken up by the plant and the growth rate. The best results are recorded with the rate of 5% gypsum, and the lowest are recorded dose 60% of the latter to the above parameters.

Furthermore, the treatment G5V2 recorded the best results with all studied parameters.

Key word: gypsum, nitrogen, dynamic, organic amendments, ryegrass, kinetics, growth, absorption

ملخص

تهدف هذه الدراسة الى تحديد تأثير الجبس على ديناميكية الأزوت للأسمدة العضوية وامتصاصه من قبل عشب العلف ray grass d'Italie. جرى الاختبار على تربة خالية من الجبس والحجر الجيري. 36 معالجة مرتبة في ترتيب مؤامرة مع ثلاثة مكررات، نوعين من السماد، سماد الدواجن و سماد الأغنام مع ثلاث جرعات و ستة جرعات من الجبس (0، 10، 20، 40، 60%) تم اختبارها في هذه الدراسة. توصلنا الى أن زيادة الجبس اكثر من 5% يسبب انخفاضا في النتجة و توليد الأمونيا وتمعدن النتروجين، و يسبب انخفاضا في وزن المادة الجافة الخضري والجذري و مجموعهما وعلى سرعة امتصاص النيتروجين، وكمية النيتروجين الممتصة من قبل النبات ومعدل النمو. وتم الحصول على أفضل النتائج مع الجرعة 5% من الجبس، اما ادنها مع الجرعة 60% من هذه الأخيرة للمعلمات أعلاه. بالإضافة إلى ذلك، سجلت G5V2 نتائج جيدة مع جميع المعلمات المدروسة سالفاً.

الكلمات المفتاح : الجبس الأزوت ، دينامية ، والتعديلات العضوية، ray grass، حركية، النمو، امتصاص