

EXPÉRIENCE DE FERTILISATION MINÉRALE ET ORGANIQUE SUR PRAIRIE PERMANENTE — ILE D'AMELAND (1899-1969)

L. C. N. DE LA LANDE CREMER
avec la collaboration technique de L. VAN DER VEEN

*Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (Institut pour l'Étude de la Fertilité du Sol),
Oosterveeg 92, Haren, Gr. (Pays-Bas)*

RÉSUMÉ

Un essai de fertilisation fort simple fut établi en 1899 et exploité jusqu'en 1969 sur une prairie permanente en sol sablonneux d'origine maritime de l'île d'Ameland, située devant la côte Frisonne des Pays-Bas.

Cette expérience était destinée à l'origine à promouvoir l'utilisation des engrais artificiels. Les traitements suivants furent comparés avec ceux de parcelles non fertilisées : fumure annuelle avec 20 tonnes de fumier de bovins par ha, fumure minérale complète (NPK), fumure minérale sans azote (PK) et fumure comprenant la moitié des doses du fumier et la moitié de la fumure minérale complète.

Au début, l'apport des éléments nutritifs ne fut pas égalisé pour les traitements au fumier et aux engrais minéraux, le premier étant désavantagé dans les apports en phosphate et en potasse.

Malgré ce point faible dans l'expérimentation, cet essai procura, grâce à sa longue existence, quelques enseignements assez remarquables. Il s'avéra par exemple que malgré son désavantage dans l'approvisionnement en éléments nutritifs (tabl. 4), le traitement au fumier réussit à la longue à égaler et même à dépasser la production d'herbe du traitement à fumure minérale complète. La production obtenue avec 20 tonnes de fumier par ha et par an qui n'était au début de l'expérience que d'environ 80 p. 100 en moyenne de celle obtenue avec le traitement NPK sous forme d'engrais minéraux, passa progressivement à 110 p. 100 de celle-ci à la fin de l'expérience (fig. 2). Ce phénomène aurait pu être expliqué par une diminution de la production d'herbe sur le traitement NPK or celle-ci ne montra aucun fléchissement, le traitement NPK recevant d'ailleurs un apport croissant d'azote minéral (tabl. 1).

Cette action étonnante du fumier doit être attribuée en majeure partie sinon totalement à une augmentation de la teneur en humus du sol et à la libération consécutive par minéralisation de l'azote organique apporté par le fumier dont les arrière-effets cumulés s'ajoutent à l'action directe de celui-ci en première année.

L'augmentation de la réserve en humus eut également comme conséquence une augmentation de la réserve en eau utile du sol qui, sur le traitement au fumier, dépassa de 16 mm la quantité trouvée avec le traitement aux engrais minéraux (tabl. 12). Cependant il s'avéra que cette différence ne joua pas un rôle important dans l'amélioration signalée des rendements de la première coupe d'herbe du traitement au fumier (tabl. 13).

L'efficacité de l'azote du fumier sembla négligeable au début de l'expérience, probablement à la suite d'un apport insuffisant en phosphate et potasse. Cet apport ne fut pas modifié et l'apport en azote minéral du traitement NPK fut même augmenté. Malgré cela, l'efficacité de l'azote du fumier grandit grâce aux arrière-effets dus à la minéralisation de l'azote organique : 100 kg d'azote du fumier équivaldraient finalement à 70 kg d'azote minéral sous forme d'ammonitrate.

Au cours de l'expérience, quelques fluctuations assez considérables se sont manifestées quant au niveau de production de l'herbe (fig. 1). Les périodes en question chevauchent les époques où il y eut également un changement de la forme d'azote minéral utilisée (fig. 1). Cependant la forme d'azote n'a pu être la cause de ces variations qui durent plutôt être occasionnées par des effets climatologiques (fig. 1).

La fumure complète aux engrais minéraux pendant 70 années consécutives n'a pas diminué le niveau de production de la prairie. L'utilisation du fumier seul ou en combinaison avec des engrais minéraux a finalement abouti à un niveau de rendement de 10 p. 100 supérieur à celui du traitement complet (NPK) aux engrais minéraux.

La qualité botanique du gazon (tabl. 9) diminua pendant les trente dernières années, surtout sous l'influence de la fumure minérale. Le sol du témoin non fertilisé devint acide à la fin de l'essai et présenta une couche feutrée de 4 à 5 cm d'épaisseur par suite d'une dégradation ralentie des débris organiques. Sporadiquement, quelques *Orchis maculatus* L. y croissaient.

I. — INTRODUCTION

L'expérience de fertilisation de longue durée sur l'île d'Ameland fut à l'origine de l'un des innombrables essais de vulgarisation pour l'emploi d'engrais minéraux. La plupart de ceux-ci eurent un plan de fumure fort simple comportant généralement quatre parcelles, dont une ne recevait aucune fertilisation (témoin), les 2 autres recevant respectivement du fumier, une fumure minérale complète (NPK) et la dernière la moitié des doses de cette fumure minérale + la moitié de celle du fumier. Quelquefois le plan d'expérimentation comprenait encore quelques autres traitements où l'un des autres éléments nutritifs (P ou K) faisait défaut.

La plupart de ce genre d'essais n'existèrent que quelques années, d'autres subsistèrent plus longtemps ; parmi eux, deux essais sur prairie naturelle de l'île d'Ameland, une des îles Frisonnes situées devant la côte des Pays-Bas. Ils furent établis sur la même prairie, respectivement en 1899 et 1900, à côté l'un de l'autre, avec un plan d'expérimentation quelque peu différent, mais les apports d'éléments nutritifs y furent les mêmes et les conditions de leur exploitation (date de fumure, soins, récoltes, etc.) identiques. Ces essais furent terminés en 1969. La prairie fut alors rompue et réensemencée ; une expérience avec des quantités croissantes d'azote minéral et un apport plus important d'engrais phosphatés et potassiques fut ensuite réalisée sur les anciens traitements. Cette dernière expérience fut arrêtée en 1972.

Ce compte rendu englobera seulement la période de 1899 à 1970 des deux essais qui, en raison de leur même mode d'exploitation, seront considérés comme formant une seule expérience.

Le motif de faire subsister aussi longtemps des essais au fond fort simples n'est pas connu. Peut-être a-t-on simplement voulu savoir si les engrais minéraux pourraient aussi à la longue concurrencer le fumier sans porter préjudice au niveau de rendement du sol. Mais alors le dosage des éléments nutritifs sur les traitements avec fumier et avec engrais minéraux complets jusqu'en 1955 fut mal choisi pour pouvoir répondre à la question, l'apport de phosphore et de potasse sur le traitement « fumier » étant inférieur à celui de la fumure minérale complète (tabl. 4). L'égalisation ne s'effectua seulement que dans les deux dernières périodes (= 14 années) de l'expérimentation.

Notre Institut qui fut chargé de l'exploitation de cette expérience à partir de 1962 trouva qu'il valait la peine de continuer encore quelques années la longue suite d'observations, le traitement fumier montrant en effet une différenciation assez surprenante des rendements par rapport à ceux avec engrais minéraux. D'autre part il pouvait être utile de disposer d'une longue série d'observations pour une étude éventuelle des influences climatologiques sur les rendements en herbe obtenus avec des régimes de fertilisation différents. Finalement les changements s'opérant dans le sol à la suite des traitements effectués, dont quelques-uns même très constants, justifient une attention prolongée et la continuation de l'expérience. Celle-ci fut finalement interrompue à la suite d'économies budgétaires.

II. — PLAN D'ESSAI

Les deux essais dont il s'agit ici furent établis avec une année d'intervalle sur la même parcelle, l'un à côté de l'autre. Le plus ancien des deux comprenait des parcelles sans fumure, avec fumure minérale complète (NPK), avec fumier et avec la demi-dose de fumier et de fumure minérale complète. La seconde comprenait outre les trois premiers traitements, une parcelle ne recevant que du P et K sous forme minérale.

Les deux essais seront discutés comme formant une même expérience, les quantités d'éléments apportés et les différents traitements appliqués étant tout à fait identiques. Seuls trois des traitements ont donc ainsi une répétition.

Les parcelles utilisées à l'époque furent assez grandes. La première (sans fumure) mesurait 4×23 m, les sept autres 8×23 m. Elles se situaient le long d'une ligne orientée nord-sud.

Le sol était un sable d'origine maritime, avec une couche humifère d'à peu près 25 cm et une situation assez élevée par rapport à la nappe phréatique.

III. — FUMURES APPLIQUÉES

A. — Azote

La dose d'azote minéral donnée à la première coupe d'herbe (= foin) passa de 16 kg/ha en 1899 à 50 kg en 1969. Le tableau 1 indique les quantités et les formes d'azote utilisés.

En 1917, il n'y eut pas de fumure azotée et, en 1947, seulement une dose de 25 kg N/ha sous forme de nitrate d'ammoniaque.

La seconde coupe d'herbe n'a reçu l'azote minéral que depuis 1955 (sauf en 1966) et uniquement sur les parcelles recevant de l'azote minéral (NPK et $1/2$ NPK + $1/2$ fumier). Avant 1955, la seconde coupe ne reçut de l'azote minéral qu'à cinq occasions, notamment 20 kg N/ha sous forme de sulfate d'ammoniaque dans les années 1940, 1943 et 1944, et d'ammonitrate en 1948 et 1950.

Le traitement $1/2$ NPK + $1/2$ fumier n'a reçu que la moitié des quantités mentionnées.

B. — Phosphates

Le tableau 2 indique les quantités et formes des phosphates minéraux utilisées. Le traitement PK a reçu les mêmes quantités et formes que le traitement NPK et le traitement $1/2$ NPK + $1/2$ fumier les mêmes formes mais la moitié des quantités.

La seconde coupe d'herbe ne reçut pas de fumure phosphatée.

Il n'y eut pas de fumure phosphatée dans les années 1901, 1904 et 1918.

TABLEAU I

Quantités et formes d'azote utilisées

Période d'essai	Forme	kg N/ha 1 ^{re} coupe	kg N/ha 2 ^e coupe
1899-1903	ch	16	—
1904-1907	ch	24	—
1908-1918	ch	32	—
1919-1946	za	30	—
1948-1950	ks	48	—
1951-1961	kas	40	40 (1)
1962-1969	kas	50	50

ch = nitrate de soude, za = sulfate d'ammoniaque, ks = nitrate de chaux, kas = ammonitrate.

(1) Depuis 1955.

TABLEAU 2

Quantités et formes de phosphates minéraux utilisées

Période d'essai	Forme	P ₂ O ₅ (kg/ha)
1899-1916	slak	96
1917	—	14
1919-1923	sup	108
1924	slak	96
1925-1927	sup	72
1928-1954 (1)	slak	128
1955-1961	sup	144
1962-1969	dsup	72

slak = scories de déphosphoration, sup = superphosphate, dsup = superphosphate double, sulkaphos = sulfate de potasse phosphaté.

(1) 1942 : 120 kg comme sulkaphos-C.

1949 : 108 kg comme superphosphate.

C. — Potasse

Le tableau 3 indique les quantités et les formes d'engrais potassiques utilisées sur les traitements avec engrais minéraux. Le traitement PK reçut les mêmes doses et formes et le traitement 1/2 NPK + 1/2 fumier la moitié des doses de la fumure minérale complète.

Il n'y eut pas de fumure potassique à la seconde coupe ni dans les années 1901, 1904 et 1918.

TABLEAU 3

Quantités et formes d'engrais potassiques utilisées

Période d'essai	Forme	K ₂ O (kg/ha)
1899-1900	kn	130
1902-1917	kn	100
1919-1924	K-20	100
1925-1938	K-40	100
1939-1946 (1)	K-40	120
1947	K-50	125
1948	K-40	120
1949	K-60	120
1950	K-40	100
1951-1954	K-40	80
1955-1969	K-60	100

kn = kaïnite, K-20 = potasse 20 p. 100, K-40 = potasse 40 p. 100, K-50 = potasse 50 p. 100, K-60 = potasse 60 p. 100, sulkaphos = sulfate de potasse phosphaté.

(1) En 1942 : 240 kg K₂O/ha comme sulkaphos-C.

D. — Magnésie

Depuis 1962 l'apport de magnésie sur les traitements NPK et PK a été rendu égal à celui fait par le fumier (30 kg de MgO/ha sous forme de kiésérite). Le traitement 1/2 NPK + 1/2 fumier a reçu la moitié de cette dose sous forme minérale. Dans les années antérieures à 1962, l'entretien en magnésium des parcelles traitées aux engrais minéraux s'effectua par les scories de déphosphoration, la kaïnite, le K-20 p. 100 et le K-40 p. 100 utilisés.

E. — Chaux

Les traitements aux engrais minéraux ont été chaulés en 1899 et 1900 avec 1 000 kg de chaux et le traitement 1/2 NPK + 1/2 fumier avec 500 kg. La forme utilisée ne fut pas mentionnée.

F. — Fumier

Au cours de l'expérience, on appliqua 69 fois du fumier de bovins à la dose de 20 tonnes par ha (1944 = 25 tonnes). Pendant les 7 premières années, il y eut deux années sans fumier. Cette omission n'influença d'ailleurs pas le rapport des rendements moyens entre le traitement au fumier et celui aux engrais minéraux complets, selon qu'on le calcule seulement pour les cinq années avec fumier ou pour les sept années de toute la période. L'efficacité de l'azote du fumier à donc dû être restreinte au début de l'essai.

Rappelons que 20 tonnes de fumier apportent 100 kg N, 60 kg de P₂O₅, 80 kg de K₂O et 30 kg de MgO par an.

G. — *Aperçu général des apports totaux et moyens en éléments nutritifs par la fumure entre 1899 et 1969*

Le tableau 4 résume les apports totaux et moyens en éléments nutritifs faits par les engrais minéraux et le fumier pendant la période expérimentale entre 1899 et 1969.

TABLEAU 4

Apport total et moyen en éléments nutritifs par traitement entre 1899 et 1969 exprimé en kg et en kg par ha

Traitement	N				P ₂ O ₅		K ₂ O		MgO (1)	
	1 ^{re} coupe	2 ^e coupe	total	p. an	1 ^{re} coupe	p. an	1 ^{re} coupe	p. an	1 ^{re} coupe	p. an
Témoin	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NPK	2 639	730	3 369	48	7 432	106	7 167	102	2 000	29
PK	—	—	—	—	7 432	106	7 167	102	2 000	29
1/2 NPK + 1/2 fumier	4 780	365	5 145	74	5 793	83	6 353	91	2 040	29
Fumier	6 925	—	6 925	99	4 155	59	5 540	79	2 078	30

(1) Les engrais minéraux apportèrent 300 kg de MgO sous forme de kiésérite dans la période 1962-1969. Dans les années antérieures à cette période, l'approvisionnement se fit par les engrais phosphatés et potassiques utilisés.

En continuant l'expérience en 1962, il fut décidé de ne pas apporter de profonds changements dans le niveau d'approvisionnement en éléments nutritifs. On se borna à égaliser l'apport de ces éléments entre les divers traitements. L'apport total en azote minéral (100 kg par ha) fut dorénavant réparti en doses de 50 kg /ha avant la première et avant la seconde coupe.

Remarquons encore que l'apport total et l'apport moyen en éléments nutritifs par le fumier furent inférieurs à ceux du traitement NPK jusqu'en 1962. Ceci fut un sérieux désavantage pour ce traitement ainsi que pour l'interprétation des résultats de l'expérience. C'est seulement durant la dernière période (= 7 années) que ces différences furent éliminées.

IV. — RENDEMENTS

En vue d'une présentation claire, les rendements ont été résumés en rendements moyens par période de 7 années (tabl. 5). Afin de pouvoir suivre leur évolution au cours de l'expérience ces rendements moyens ont été comparés à celui du témoin de la première période. Les influences éventuelles d'autres facteurs (forme d'engrais utilisé, influences climatologiques, etc.) sont ainsi maintenues, ce qui ne serait pas le cas si le témoin de chaque période était pris comme base de référence.

Le tableau 6 donne les rendements de la seconde coupe.

TABLEAU 5

*Rendements moyens en foin (85 p. 100 de matière sèche)
de la première coupe en kg par ha et par an
par périodes de 7 années et en pourcentage de ceux du témoin de la période 1900-1906*

Période	Rendement moyen en foin en kg/ha/an					Rendement moyen en pourcentage du témoin (1)				
	témoin	NPK	fumier	1/2 + 1/2 (2)	PK	témoin	NPK	fumier	1/2 + 1/2 (2)	PK
1900-1906	2 407	5 458	4 427	5 771	4 311	100	227	184	240	179
1907-1913	2 143	6 288	5 068	5 925	4 968	89	261	210	246	206
1914-1920	2 129	6 781	6 177	6 621	5 718	89	281	256	275	238
1921-1927	1 541	5 691	5 325	5 207	4 936	64	236	221	216	205
1928-1934	1 474	5 462	5 051	5 094	4 961	61	227	210	211	206
1935-1941	1 256	5 432	5 642	5 165	5 011	52	225	234	214	208
1942-1948	1 357	4 667	5 289	5 692	4 529	56	194	220	336	188
1949-1955	1 270	6 742	6 709	7 307	5 243	53	280	278	303	218
1956-1962	1 130	5 362	6 158	6 259	4 120	47	223	256	260	171
1963-1969	1 549	6 101	6 434	6 760	4 481	64	253	267	280	186

(1) de la période 1900-1906.

(2) 1/2 NPK + 1/2 fumier.

TABLEAU 6

*Rendements moyens de la seconde coupe en kg par ha par an pour le traitement NPK
et en pourcentage de celui-ci pour les autres traitements*

Période	Matière sèche, kg/ha traitement NPK	Rendement en pourcentage du traitement NPK			
		NPK	fumier	1/2 + 1/2 (1)	PK
1907-1913	2 294	100	85	111	115
1935-1941	2 713	100	92	101	81
1942-1948	2 338	100	120	135	103
1949-1955	1 846	100	141	145	90
1956-1962	2 836	100	98	102	66
1963-1969	3 240	100	93	103	67

(1) 1/2 NPK + 1/2 fumier.

V. — COMPOSITION CHIMIQUE DE L'HERBE

Les analyses chimiques de l'herbe n'ont été effectuées régulièrement que depuis 1957 pour chacune des deux coupes récoltées. Avant cette date il n'y eut d'analyses qu'en 1943 et 1944. Le tableau 7 mentionne les résultats pour les années 1943 et 1969.

TABLEAU 7

Analyses chimiques de la première et seconde coupe d'herbe des années 1944 et 1969

Traitements	Coupe et année	Matière sèche (%)	En pourcentage de la matière sèche				
			p.b.d. (1)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Témoin.....	1 ^{re} 1943	26,7	12,0	1,92			
NPK.....	1 ^{re} 1943	22,7	11,2	1,79			
PK.....	1 ^{re} 1943	23,6	11,4	1,82			
Fumier.....	1 ^{re} 1943	26,3	11,3	1,81			
1/2 NPK + 1/2 fumier	1 ^{re} 1943	22,5	11,4	1,82			
Témoin.....	2 ^e 1943	19,5	12,9	2,06			
NPK.....	2 ^e 1943	19,1	12,6	2,02			
PK.....	2 ^e 1943	19,0	12,5	2,00			
Fumier.....	2 ^e 1943	18,2	12,8	2,05			
1/2 NPK + 1/2 fumier	2 ^e 1943	19,0	11,4	1,82			
Témoin.....	1 ^{re} 1969	30,7	13,2	2,11	0,65	2,22	0,29
NPK.....	1 ^{re} 1969	18,5	11,8	1,88	0,92	2,13	0,36
PK.....	1 ^{re} 1969	20,4	11,6	1,86	1,01	2,88	0,31
Fumier.....	1 ^{re} 1969	17,3	12,6	2,02	0,88	1,98	0,47
1/2 NPK + 1/2 fumier	1 ^{re} 1969	17,4	12,2	1,95	0,90	2,01	0,40
Témoin.....	2 ^e 1969	29,5	12,8	2,05	0,59	2,03	0,38
NPK (2).....	2 ^e 1969	20,7	11,7	1,87	0,95	1,82	0,52
PK.....	2 ^e 1969	23,1	12,	1,92	1,08	2,80	0,38
Fumier.....	2 ^e 1969	17,6	13,7	2,19	0,97	1,81	0,81
1/2NPK + 1/2 fumier(2)	2 ^e 1969	15,7	12,5	2,00	1,03	1,69	0,62

(1) Protéines brutes digestibles.

(2) Depuis 1955, les secondes coupes de ces traitements ont reçu respectivement 50 en 25 kg N/ha.

En 1943, la première coupe fut effectuée le 9 juin et la seconde le 7 septembre. En 1969, les dates de fauchage furent le 12 juin et le 19 août. On se souviendra que les traitements NPK et 1/2 NPK + 1/2 fumier reçurent dès 1955 respectivement 50 kg et 25 kg d'azote minéral avant la seconde coupe, ce qui n'était pas l'habitude auparavant.

VI. — COMPOSITION BOTANIQUE

Dans les années 1940, 1962 et 1969 furent effectués des examens botaniques de la première coupe d'herbe. Le tableau 8 en donne un aperçu sous forme du pourcentage des catégories principales exprimées en poids sec et la qualité du gazon calculée sur cette base (10 = très bonne, 1 = mauvaise) est présentée dans le tableau 9.

TABLEAU 8

Aperçu des examens botaniques, en pourcentages du poids sec de la première coupe d'herbe

Catégorie	Année	Témoïn	NPK	Fumier	1/2 NPK + 1/2 fumier	PK
Bonnes herbes	1940	9,0	24	39	35	
	1962	2,0	39	31	27	14
	1969	2,5	8	30	18	6
Légumineuses	1940		5	3	4	
	1962		2,5	0,5	1	15
	1969	+	+			1
Herbes médiocres	1940		22	14	19	
	1962	1	12	11	11	11
	1969	2	21	26	32	17
Herbes inférieures	1940		44	33	35	
	1962	55	30	20	18	41
	1969	57	59	31	37	57
Pseudo herbes	1940					
	1962	25	+			2
	1969	37	+	+		4
Autres herbacées	1940		7	13	7	
	1962	14	26	33	28	13
	1969	2,5	12	14	13	15

TABLEAU 9

Qualité du gazon

(10 = très bonne ; 1 = très mauvaise)

Date	Témoïn	NPK	Fumier	1/2 + 1/2 (¹)	PK
3-6-1940	3,2	6,0	5,9	5,9	5,0
10-5-1962	3,4	5,2	5,2	5,8	5,1
6-1969	3,0	4,5	5,4	5,0	4,3

(¹) 1/2 NPK + 1/2 fumier.

VII. — ANALYSES CHIMIQUES ET PHYSIQUES DU SOL

La première analyse chimique du sol de cette expérience fut faite en 1937. L'état de fertilité au départ de l'essai est donc inconnu. Le tableau 10 donne les analyses du sol de la dernière année (1969) et le tableau 11, quelques autres déterminations effectuées en 1938.

TABLEAU 10

Analyse chimique du sol en 1969

Détermination	Couche (cm)	Témoin	NPK	PK	Fumier	1/2 + 1/2*
pH-HCl	0-5	3,7	4,8	4,2	4,7	4,8
	5-10	3,7	4,9	4,5	4,3	4,8
	10-20	3,9	5,1	4,9	4,2	4,9
Humus (1)	0-5	6,2	5,6	5,8	5,8	5,4
	5-10	4,5	4,7	4,8	5,4	4,6
	10-20	3,4	3,0	3,6	4,0	3,0
P-AL (2)	0-5	12	53	47	19	39
	5-10	6	63	61	18	45
	10-20	5	57	75	28	47
P-get (3)	0-5	11	14	21	17	16
	5-10	4	14	14	12	16
	10-20	1	10	10	10	9
Pw (4)	0-5	28	74	85	69	75
	5-10	13	70	80	29	68
	10-20	8	62	73	32	55
K-get (5)	0-5	25	15	26	15	14
	5-10	12	9	7	7	6
	10-20	10	8	12	9	8
MgO (6)	0-5	87	154	141	230	182
	5-10	64	121	116	144	141
	10-20	43	77	99	112	96
N (7)	0-5	220	205	220	305	230
	5-10	170	185	170	225	200
	10-20	145	130	160	180	140

* 1/2 NPK + 1/2 fumier.

(1) Humus, perte au feu.

(2) P-AL = mg P_2O_5 par 100 g de terre sèche d'après la méthode lactate d'ammonium-acide acétique.

(3) P-get = mg P_2O_5 par 100 g de terre sèche, soluble dans de l'eau à 50°C.

(4) Pw-get = mg P_2O_5 de terre sèche, soluble dans l'eau (par litre).

(5) K-get = $\frac{10 \times \text{K-HCl}}{a \times h}$ (h = pourcentage d'humus ; a = facteur de conversion).

(6) MgO = mg de MgO par kg de terre sèche, déterminé dans une solution de NaCl 0,5 N.

(7) N = pourcentage de N d'après Kjeldahl $\times 1000$.

TABLEAU II

*Degré de saturation en cations (V) en pourcentage,
teneur en cations échangeables (S) en pourcentage
et capacité de fixation en cations (T) en milliéquivalents
par 100 g de sol de la couche de 0-5 cm en 1938*

	V	S	T	pH-H ₂ O
Témoin	22,2	2,4	10,8	4,7
NPK	62,8	7,6	21,1	5,6
PK	83,1	10,3	12,4	6,3
Fumier	63,2	8,4	13,3	5,6
1/2 NPK + 1/2 fumier	73,5	9,7	13,2	6,0

En 1962 et 1969, les quantités d'eau utile furent mesurées sur chaque parcelle, c.a.d. la différence des volumes d'eau absorbée en pour cent entre pF₁ et pF₂, dans la couche de 0-25 cm (tabl. 12).

TABLEAU 12

Quantité d'eau utile en mm par ha

Traitement	1962	1969	Moyenne
Témoin	36	30	33
NPK	45	42	44
Fumier	62	57	60
1/2 NPK + 1/2 fumier ...	66	60	63

VIII. — DISCUSSION DES RÉSULTATS

Le niveau de rendement du témoin sans fumure fut réduit de moitié au cours de l'expérience (tabl. 5, fig. 1).

Les rendements des quatre traitements fertilisés évoluèrent plus ou moins parallèlement avec deux maximum distincts dans la troisième et depuis la huitième période. Cette évolution des rendements correspond à la fois à un changement de la forme d'azote minéral utilisé et à des périodes caractérisées par plus ou moins de précipitations aux mois de février à juin (fig. 1). Comme les traitements PK et fumier suivent également cette évolution sans avoir reçu d'azote minéral, la forme d'azote utilisée ne peut en être la cause.

La quantité d'azote minéral utilisée fut régulièrement augmentée au cours de l'expérience (tabl. 1). L'approvisionnement en phosphate et en potasse montre

bien quelques fluctuations (tabl. 2 et 3), mais celles-ci ne peuvent expliquer les variations dans les rendements. D'autre part la somme des précipitations des mois de février à juin n'est pas non plus en corrélation avec les rendements. Il n'est pourtant pas trop invraisemblable que la distribution des précipitations et de la température ait joué un rôle prépondérant dans cette évolution.

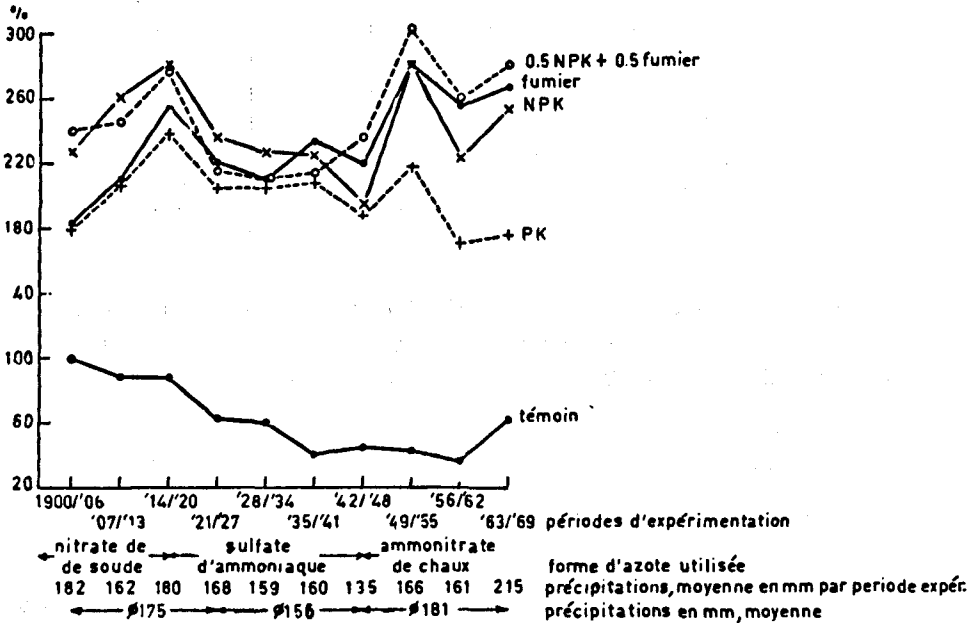


FIG. 1. — Rendements relatifs en matière sèche de la première coupe d'herbe par rapport au témoin, en 1900-1906

(= 2 407 kg/ha en moyenne)

Un autre phénomène assez remarquable celui-ci, se présente sur les deux traitements fumier : au départ, l'action de l'azote du fumier sembla assez restreinte dans les deux premières périodes de l'expérience (comparez l'effet sur les rendements d'un apport d'azote minéral par période — respectivement 21 et 31 kg/ha dans les deux premières périodes — avec celui du fumier avec 100 kg de N et sur le traitement PK sans N) (tabl. 1 et 5). L'action de l'azote du fumier semble donc être inférieure à celle connue d'après d'autres expériences sur prairie (KOLENBRANDER et DE LA LANDE CREMER, 1967). Mais cet effet peut être masqué par un apport de phosphates et de potasse trop restreint dans le fumier par rapport au traitement NPK (tabl. 2 et 3 et § V).

L'apport en phosphates minéraux fut en effet juste suffisant pour une prairie pauvre en phosphore, fauchée une fois par an et pâturée ensuite. Or l'approvisionnement par le fumier était de 36 kg/ha inférieur à la dose requise. Le rendement obtenu avec le traitement combiné (1/2 NPK + 1/2 fumier) apportant 20 kg de P_2O_5 en plus fut considérablement supérieur à celui du fumier.

La dose moyenne de potasse fut insuffisante pour les prairies pauvres en cet

élément, fauchées une fois par an et pâturées ensuite, aussi bien pour les traitements aux engrais minéraux que pour ceux au fumier.

L'approvisionnement en magnésie fut également insuffisant pour tous les traitements fertilisés.

En considérant les résultats des analyses du sol en 1969 (tabl. 10), les réserves nutritives au départ de l'expérience n'ont pas dû être très élevées non plus.

Malgré tous ces désavantages au détriment du traitement fumier, on peut observer sur la figure 2 que l'action de l'azote du fumier s'améliora progressivement de sorte que les rendements de ce traitement égalèrent ceux du traitement NPK dans la période 1935-1941 pour ensuite même les dépasser.

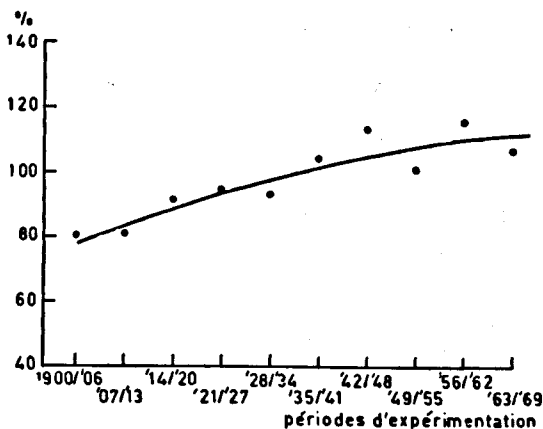


FIG. 2. — Rendements relatifs en matière sèche de la première coupe d'herbe du traitement au fumier en pourcentage du traitement NPK, par périodes d'expérimentation

Dans la figure 2, les rendements sont rapportés, par périodes, à ceux du traitement NPK, pour éliminer les influences du climat. Une fumure annuelle avec 20 t/ha pendant une longue période laisse donc à la longue, apparaître une action surprenante du fumier. La question se pose maintenant de savoir à quoi cette étonnante amélioration doit être imputée.

D'après les données des analyses chimiques du sol en 1969 (tabl. 10), cette amélioration n'a pas pu être provoquée par un meilleur approvisionnement en phosphate et en potasse par rapport au traitement NPK. La cause doit plutôt être recherchée dans l'augmentation de la réserve en humus et des facteurs qui y sont liés comme l'augmentation de l'azote assimilable à la suite de la libération graduelle, par minéralisation, de l'azote organique apporté par le fumier. Une autre possibilité est l'amélioration de la réserve en eau utile dans le sol (tabl. 12). L'influence de ce dernier facteur devrait alors surtout se faire sentir dans des différences de production en herbe entre printemps secs et humides.

En l'absence de données à ce sujet, un dédoublement a été effectué pour contrôler cette influence dans les années 1928 à 1959, la précipitation moyenne de 157 mm de toute cette période servant comme critère de différenciation entre printemps secs ou humides (tabl. 13).

TABLEAU 13

*Rendements de la première coupe du traitement au fumier
en pourcentage de ceux du traitement NPK
pour les printemps secs ou humides de la période 1928-1959*

Période	Précipitations (1)					
	< 157 mm		157 mm		< 157 mm	> 157 mm
	rendement relatif	nombre d'observation	rendement relatif	nombre d'observation	précipitations moyennes (mm)	
1928-1934	88	4	97	3	138	188
1935-1941	107	5	108	2	132	231
1942-1948	108	5	106	1	116	160 (2)
1949-1955	99	3	101	4	128	194
1956-1962	127	3	110	4	126	187
1963-1969	—	0	107	7	—	215

(1) Somme moyenne des précipitations de février à juin, dans la période 1928-1959.

(2) 1945 exclus, la fumure étant apportée après la première coupe.

Comme il résulte du tableau 13, l'action du fumier ne différa pas beaucoup entre les printemps plutôt secs et ceux plutôt humides. Il est donc raisonnable de supposer que l'amélioration de l'action du fumier au cours de l'expérience doit être imputée en majeure partie à la minéralisation de l'azote organique du fumier. Les arguments suivants plaident également en faveur de cette hypothèse :

— En 1945, la fumure sur tous les traitements fertilisés ne fut appliquée qu'après la première coupe, qui ne disposait donc que de l'arrière-effet des fumures des années précédentes. Le traitement fumier procura alors un rendement de 68 p. 100 supérieur à celui obtenu avec NPK, et cette augmentation fut de 28 p. 100 pour la combinaison 1/2 NPK + 1/2 fumier.

— Jusqu'en 1956, la seconde coupe d'herbe ne reçut pas de fumure. Après cette date, la fumure azotée sur les traitements aux engrais minéraux devint la règle. Le tableau 6 montre que la même évolution dans l'action du fumier par rapport au traitement NPK, visible dans la figure 2, peut être suivie dans les rendements de la seconde coupe jusqu'en 1956. Après cette date, cette différence disparut en raison des fumures azotées appliquées à la seconde coupe aux traitements minéraux (NPK et 1/2 NPK + 1/2 fumier).

Les teneurs en azote de l'herbe (tabl. 7) et du sol (tabl. 10) sont autant d'indications en faveur d'un apport supplémentaire d'azote assimilable par le fumier grâce à la minéralisation graduelle de la réserve d'azote organique accumulée par celui-ci au cours de l'expérimentation.

S'il fallait avec quelque réserve exprimer l'action du fumier en équivalents d'azote minéral, 100 kg d'azote du fumier équivaldraient à 40 kg d'azote minéral sous forme de sulfate d'ammoniaque, dans la période 1935-1941. A la fin de l'expé-

rience, les 100 kg d'azote du fumier produisirent en moyenne 10 p. 100 de plus de matière sèche que 50 kg d'azote minéral sous forme d'ammonitrate (fig. 2). Par rapport au traitement PK, les 50 kg d'azote minéral ont produit, en moyenne, pour les deux dernières périodes :

$(6\ 101 + 5\ 362) : 2 - (4\ 120 - 4\ 481) : 2 = 1\ 431$ kg supplémentaires de matière sèche (tabl. 5), soit 28,6 kg par unité d'azote utilisé. Avec un rendement moyen du traitement fumier de 10 p. 100 plus élevé par rapport au traitement NPK durant les deux dernières périodes (fig. 2), il y eut une production supplémentaire de 573 kg de matière sèche. Pour pouvoir réaliser cette augmentation, il aurait donc fallu $573 : 28,6 = 20$ kg d'azote assimilable. L'effet des 100 kg d'azote du fumier équivaldrait alors à 50 kg d'azote minéral plus 20 kg d'azote minéralisé de provenance organique soit 70 kg d'azote minéral au total sous forme d'ammonitrate.

Au début de l'expérience, l'effet de l'azote du fumier était à peu près nul, d'après un calcul semblable, à moins que cet effet n'ait été masqué par l'approvisionnement insuffisant en phosphate et potasse, insuffisance qui persista du reste jusqu'à la fin de l'expérience, tandis que l'action du fumier s'améliorait quand même progressivement. L'efficacité de l'azote du fumier aurait donc aussi bien pu être d'environ 20 p. 100, comme elle fut mesurée ailleurs (KOLENBRANDER et DE LA LANDE CREMER, 1967).

Une efficacité de 70 p. 100 pour l'azote du fumier appliqué annuellement au printemps pendant une période suffisamment longue doit à peu près être le maximum réalisable avec utilisation sur prairie si l'on prend en considération les pertes inévitables par voie gazeuse et lessivage.

Pour la combinaison 1/2 NPK + 1/2 fumier, les rendements évoluèrent dès la quatrième période (1921-1927) à peu près parallèlement à ceux du traitement au fumier, en étant toutefois en moyenne légèrement supérieurs à ceux-ci dans les dernières 28 années. Au début de l'expérience, l'évolution était plutôt parallèle à celle du traitement NPK avec un rendement quelque peu inférieur.

La production en matière sèche du traitement PK diminua depuis la période 1914-1920 et se stabilisa à la fin de l'expérience à quelque 70 p. 100 de celle du traitement NPK.

Les teneurs en protéines brutes digestibles et en azote de la matière sèche (tabl. 7) confirment l'hypothèse déjà exprimée que le traitement au fumier disposa progressivement de plus d'azote assimilable pour l'herbe. La teneur passablement élevée des témoins doit probablement être attribuée à la très maigre production d'herbe sur ces parcelles.

La teneur en P_2O_5 en 1969 indique un approvisionnement en phosphore plutôt suffisant malgré les réserves insuffisantes du traitement au fumier (tabl. 10).

La teneur en potasse était loin d'être optimale pour une bonne production d'herbe (tabl. 7).

L'approvisionnement en magnésie est bon avec des teneurs en MgO remarquablement élevées dans l'herbe du traitement au fumier (tabl. 7).

La qualité botanique du gazon du témoin était fort mauvaise (tabl. 9). Digne de mention est la présence de quelques *Orchis maculatus* L sur ces parcelles. La qualité du gazon des autres traitements évolua de satisfaisante vers insuffisante pour les deux traitements aux engrais minéraux et de satisfaisante vers médiocre pour les deux traitements au fumier (tabl. 9).

La présence, entre autres, de passablement d'*Anthoxantum odoratum* L. (NPK = 54 p. 100 contre 20 p. 100 avec le traitement au fumier) est un indice que la fertilité du sol sur le traitement aux engrais minéraux a diminué plus sévèrement que sur le traitement fumier.

Le sol du témoin est devenu acide (tabl. 10). Sa teneur assez élevée en humus par comparaison aux autres traitements découle de la présence de débris organiques non dégradés dans ce milieu acide, formant une couche feutrée de 4 à 5 cm d'épaisseur, absente sur les autres traitements. Les teneurs en azote total des témoins également assez élevées par rapport à celles des autres traitements n'ont ici aucune incidence sur la croissance de l'herbe.

Les valeurs du pH des autres traitements sont marginales pour une bonne production herbagère. Dans les traitements aux engrais minéraux, ils s'élevèrent en profondeur ; dans le traitement au fumier, par contre il y eut un abaissement.

La couche de 0 à 20 cm du traitement fumier contient plus d'humus que les autres traitements fertilisés. La réserve en azote y est également plus élevée, provoquant probablement l'amélioration de l'effet azoté du fumier déjà signalé. Cette réserve plus élevée d'humus améliora également la réserve en eau utile à la végétation (= différence entre vol. d'eau (p. 100) à pF_5 et pF_6) (tabl. 12) par rapport au témoin (+ 27 mm) et au traitement NPK (+ 16 mm). Comme il a été déjà démontré ci-dessus, cette réserve supplémentaire n'eut cependant pas d'influence sur la production herbagère au cours des printemps plutôt secs (tabl. 13).

La valeur P-AL (tabl. 10) indique une réserve en phosphate insuffisante pour le traitement au fumier. Pour les autres traitements, cette réserve est suffisante à élevée. Par rapport à la valeur P-AL, la valeur Pw du traitement au fumier est curieusement élevée.

Les teneurs en potasse du sol sont basses pour tous les traitements sauf PK. L'apport en potasse ne satisfait qu'à peu près la moitié des besoins d'une bonne production herbagère. Les teneurs en potasse de l'herbe (tabl. 7) reflètent d'ailleurs l'insuffisance en cet élément.

La teneur en magnésie pour les traitements NPK et fumier est suffisante et, pour les autres, assez basse (tabl. 10). L'apport en magnésie faite au traitement NPK et rendu égal ces dernières années à celui amené par le fumier, est insuffisant pour la teneur en magnésie de ce sol.

La capacité de fixation pour les bases du sol du traitement fumier s'est quelque peu améliorée par rapport à celles des traitements aux engrais minéraux (tabl. 11). Il y a une bonne concordance entre les degrés de saturation en bases et les pH-H₂O mesurés.

IX. — CONCLUSIONS

Bien que l'apport en éléments nutritifs fait par le fumier de bovins utilisé à la dose de 20 t/ha/an, lui ait été défavorable par rapport au traitement NPK, l'effet du fumier a progressé peu à peu au cours d'une période d'expérimentation de 70 années. Cette amélioration de l'effet doit être attribuée en grande partie, sinon totalement, à une cumulation de l'action directe et des arrière-effets de l'azote du fumier,

ceux-ci provenant de la minéralisation de l'azote organique accumulé progressivement au cours des années. L'effet de l'azote du fumier a évolué de ce fait de 0 ou ± 20 p. 100 au départ de l'expérience à ± 70 p. 100 à la fin de celle-ci.

Reçu pour publication en mai 1976.

SUMMARY

MINERAL AND ORGANIC FERTILIZER EXPERIMENT ON PERMANENT GRASSLAND. ISLAND OF AMELAND (1899-1969)

A very simple fertilizer experiment was set up in 1899 and continued until 1969 on permanent grassland grown on sandy, originally maritime soil in the island of Ameland, located along the Frisian Coast in the Netherlands.

This experiment was initially aimed at promoting the use of artificial fertilizer. Following treatments were compared with unmanured plots: yearly application of 20 tons farmyard manure per ha, complete mineral fertilizer treatment (NPK), mineral fertilizers without nitrogen (PK) and a treatment including half of the amounts of farmyard manure and half of the complete mineral fertilizer treatment.

At the beginning, the amounts of nutrients brought into the soil through farmyard manure and mineral fertilizers were not equal, the former bringing lower amounts of phosphates and potash.

In spite of this flaw, this experiment gave us some very striking informations, owing to its long duration.

It appeared, for instance, that although less nutrients were supplied to the plots through farmyard manure (tab. 4), grass production on these plots became in the long run as high as on the plots fertilized with complete mineral fertilizer treatment, and ever higher. Accordingly, a yearly application of 20 tons of farmyard manure per ha which at the start resulted only in 80 p. 100 of the average production obtained with NPK mineral fertilizers, gradually increased grass production up to 110 p. 100 of the NPK treatment at the end of the experiment (fig. 2). These results could have been explained by a reduction in the grass production of the NPK treated plots, but no such reduction took place; on the contrary the NPK treated plots received increasing amounts of inorganic nitrogen (tab. 1).

The surprising effect of farmyard manure must be mainly, if not entirely, due to an increase in the humus content of soil and to the resulting release, through mineralization, of the organic nitrogen supplied by farmyard manure, the cumulated after-effects of which were added to its direct action during the first year of application.

The increase in the humus reserves also caused more available water in the soil: their level was 16 mm higher in the farmyard manure plots than in the plots treated with mineral fertilizers (tab. 12). However, it appeared that this difference did not play a leading part in the noted improvement of grass production on the plots treated with farmyard manure (tab. 13).

The efficiency of farmyard manure nitrogen appeared to be negligible at the beginning of the experiment, probably as a consequence of insufficient amounts of phosphates and potash added through the treatment. These applications were not modified and even higher amounts of mineral N were added through the NPK treatment. Nevertheless, the efficiency of farmyard manure nitrogen increased, owing to the after-effects due to the mineralization of organic nitrogen which amounted to 70 p. 100 of mineral nitrogen (i. e. 100 kg of farmyard manure are equivalent to 70 kg of mineral nitrogen in the form of ammonium nitrate).

During the experiment, some important fluctuations appeared in grass production (fig. 1). During the same periods, changes had also been introduced, as far as the added nitrogen compound is concerned (fig. 1). However the form of the nitrogen compound cannot explain these fluctuations, which must rather be due to climatological factors (fig. 1).

Complete mineral fertilizer treatment applied during 70 consecutive years did not lead to a reduction in grass production. The application of farmyard manure alone or in combination with other mineral fertilizers eventually resulted in yields 10 p. 100 higher than yields obtained with complete mineral fertilization treatment (NPK).

The botanical quality of the sward (tab. 9) decreased during the last thirty years, particularly as a result of mineral fertilization. Acidification of the soil in the unmanured plot took place at the end of the experiment, and a felt-like mat (4-5 cm in thickness) was formed as a result of slow degradation of organic matter. Occasional plants of *Orchis maculatus* L. were established on it.

ZUSAMMENFASSUNG

EXPERIMENTELLE MINERALISCHE UND ORGANISCHE DÜNGUNG AUF NATURWIESE. AMELAND INSEL (1899-1969)

Ein sehr einfacher Düngungsversuch wurde im Jahre 1899 auf einer Dauerwiese auf dem seestammenden Sandboden der Ameland Insel aufgestellt und bis 1969 fortgesetzt, die vor der friesischen Küste der Niederlande liegt.

Dieser Versuch war ursprünglich für die Beförderung der Anwendung von Kunstdüngern bestimmt. Die folgenden Behandlungen wurden mit den der ungedüngten Parzellen verglichen: Jährliche Zufuhr von 20 Tonnen Rindmist pro Ha, vollständige Mineraldüngung (NPK), Mineraldüngung ohne Stickstoffzufuhr (PK) und eine aus der Hälfte der Mistgaben und der Hälfte der vollständigen Mineraldüngung bestehende Düngung.

Am Anfang wurde die Zufuhr von Nährstoffen für die Behandlung mit Mist und Mineraldüngern nicht ausgeglichen; die erste ist was die Phosphat- und Kaligaben betrifft benachteiligt.

Trotz dieser schwachen Seite in der Untersuchung lieferte dieser Versuch einige ziemlich bedeutenden Angaben dank seiner langen Dauer.

Es erwies sich zum Beispiel dass die Mistdüngung trotz einer nachteiligen Nährstoffversorgung (tafel 4) auf die Dauer einen gleichen oder selbst höheren Grasertrag als die vollständige Mineraldüngung ergab. Der mit 20 Tonnen Mist pro Ha und pro Jahr erzielte Ertrag, der am Anfang des Versuchs nur ungefähr 80 p. 100 des mit als Mineraldünger verabreichte NPK-Düngung erzielten Ertrags erreichte, gelangte allmählich 110 p. 100 desselben am Ende des Versuchs (Abb 2) Diese Tatsache konnte durch eine Verminderung des Grasertrags nach NPK-Zufuhr erklärt werden, doch zeigte dieser keinen Rückgang; die NPK gedüngte Parzelle erhielt übrigens eine steigende Mineralstickstoffgabe (tafel 1).

Diese erstaunliche Mistwirkung soll einer Steigerung des Humusgehalts im Boden und der nachfolgenden durch Mineralisierung bedingten Befreiung des mit Mist verabreichten organischen Stickstoffs grösstenteils wenn nicht ganz zugeschrieben werden, deren kumulierte Nachwirkungen zu der direkten Wirkung dieses am ersten Jahr hinzukommen.

Die Zunahme der Humusreserve hatte auch eine Zunahme der Bodenreserve in nutzbares Wasser zur Folge, die auf der mistbehandelten Parzelle 16 mm höher als die auf der mit Mineraldüngern behandelten Parzelle (tafel 12) war. Es erwies sich doch dass dieser Unterschied keine wichtige Rolle in die beobachtete Ertragsverbesserung des ersten Grasschnitts auf der mistbehandelten Parzelle (tafel 13) spielte.

Am Anfang des Versuchs schien die Wirksamkeit des Miststickstoffs unwesentlich vermutlich in Folge einer unzureichenden Zufuhr von Phosphat und Kali. Diese Zufuhr wurde nicht geändert und die Zufuhr von Mineralstickstoff auf die NPK gedüngte Parzelle wurde sogar gesteigert. Die Wirksamkeit des Miststickstoffs nahm trotzdem dank der Nachwirkungen der Mineralisierung des organischen Stickstoffs zu, die zu 70 p. 100 des Mineralstickstoffs entspricht (d. h. dass 100 kg Miststickstoff gleichen 70 kg als Kalkammonsalpeter verabreichter Mineralstickstoff).

Während des Versuchs äusserten sich einige ziemlich beträchtlichen Schwankungen was die Grasertragshöhe betrifft (abb. 1). Die betreffenden Perioden überlappen sich mit den Zeitabschnitten, wo es auch eine Änderung der gebrauchten Form von Mineralstickstoff gab (abb. 1). Die Stickstoffform konnte doch nicht diese Schwankungen verursachen, die vielmehr durch Klimaeffekte bedingt sein sollten (abb. 1).

Die vollständige Mineraldüngung während 70 aufeinanderfolgenden Jahre hat nicht die Ertragshöhe der Wiese vermindert. Die Anwendung von Mist allein oder in Kombination mit Mineraldüngern hat zum Schluss zu einer Ertragshöhe geführt, die 10 p. 100 höher als die mit der vollständigen Mineraldüngung (NPK) erzielte Ertragshöhe ist.

Die botanische Rasenbeschaffenheit (tafel 9) senkte während der 30 letzten Jahre insbesondere unter dem Einfluss der Mineraldüngung. Der ungedüngte Kontrollboden wurde am Ende des Versuchs sauer und zeigte eine 4-5 cm dicke verfilzte Schicht in Folge eines herabgesetzten Abbaus der organischen Abfälle. Dort wuchsen vereinzelt *Orchis maculatus* L.

РЕЗЮМЕ

Опыт минерального и органического удобрения природного луга-остров Амеланд (1899-1969).

Л. К. Н. ЛЕ ЛА ЛАНД КРЕМЕР (при техническом сотрудничестве Л. Ван дер Веен).

Очень простой опыт удобрения постоянного луга, на песчанной приморской почве острова Амеланд, расположенного против фризонского побережья Голландии, был заложен в 1899 году и длился до 1969.

Начальным заданием этого опыта было распространение применения искусственных удобрений. Результаты полученные на неудобренных делянках сравнивались с результатами следующих обработок: ежегодное внесение 20 тонн/га коровьего навоза, полное минеральное удобрение N PK, минеральное удобрение без азота (PK) и удобрение состоявшее из половины указанной дозы навоза и половинной дозы полного минерального удобрения.

Вначале, количества питательных элементов внесенные с навозом и с минеральными удобрениями, были неодинаковыми, ибо навоз содержал мало фосфора и калия. Несмотря на существование в эксперименте этого « слабого » пункта, опыт дал, благодаря своей длительности, некоторые весьма интересные результаты.

Оказалось, например, что несмотря на недостаток питательных элементов в навозе (таблица 4), обработка лугов этим последним позволяла достичь, и даже превзойти продукцию травы, полученную после длительного применения полного минерального удобрения. Продукция, полученная после внесения 20-ти тонн навоза/га в год, представлявшая в начале опыта в среднем около 80 % продукции полученной на участках где было внесено полное минеральное удобрение NPK, прогрессивно увеличивалась и представляла к концу опыта 110 % (рис. 2). Явление это можно было-бы объяснить уменьшением продукции травы в варианте NPK, но в этом последнем случае никакого уменьшения не наблюдалось, тем более, что в этом варианте происходило увеличение запасов азота в почве (таблица 1).

Это необычайное действие навоза можно частично, или даже полностью, приписать увеличению содержания гумуса в почве, и освобождению, с помощью его минерализации, органического азота принесенного с навозом, сумма последствий которого, прибавляется к прямому действию элемента в первый год внесения.

Увеличение запасов гумуса в почве вызывает увеличение полезного запаса влаги, который, в случае обработки навозом, превышает на 16 мм количество влаги, найденное в почве после внесения минерального удобрения (таблица 12). Однако, оказалось что эта разница не играет никакой роли в отмеченном увеличении урожая травы первого по внесению навоза укоса (таблица 13).

Эффективность азота навоза казалась ничтожной в начале опыта, повидимому в виду недостаточности содержания в нем фосфора и калия.

Количество этих элементов в навозе не было увеличено, и, напротив, процент минерального азота был увеличен в варианте обработки NPK. И, несмотря на это, эффективность азота навоза продолжала расти, благодаря последствиям вызванным минерализацией органического азота, соответствовавшей 70 % минерального азота (это означает что 100 кг азота навоза эквивалентны 70 кг минерального азота внесенного в виде нитрата аммония).

Уровень продукции травы сильно изменялся в течении опыта (рис. 1) и периоды этих изменений соответствовали эпохам изменения применявшихся форм минерального азота (рис. 1). И вместе с тем, форма азота не могла быть сама по себе причиной этих изменений, вызывавшихся скорее всего климатическими факторами (рис. 1).

Полное минеральное удобрение в течении 70-ти лет не понизило уровня продукции луга. Применение же одного только навоза, или навоза в комбинации с минеральным удобрением, превысило, в конце концов, на 10 % уровень полученный при применении полного минерального удобрения NPK.

Ботаническое качество травы (таблица 9) ухудшилось за последние 30 лет опыта, особенно под влиянием минерального удобрения. Реакция почвы контрольной неудобренной делянки, стала кислой к концу опыта и замедление деградации органических остатков вызвало образование на ней войлочнообразного слоя в 4-5 см толщины, на котором спорадически произрастало небольшое количество *Orchis maculata* L.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

KOLENBRANDER G. J., DE LA LANDE CREMER L. C. N., 1967. *Stalmest en gier. Waarde en mogelijkheden*, 188 pages, Veenman, Wageningen.
