

Relation entre la fertilité des sols et  
les conditions environnantes en milieu  
forestiers.

Dr. QARRO Mohamed, Ecole Nationale Forestière  
d'Ingénieurs. Tabriquet.  
BP. 511 - SALE - MAROC

Résumé :

Les écosystèmes forestiers pastoraux d'Afrique du Nord sont soumis à un système d'élevage libre appauvrissant. A cela vient s'ajouter les conséquences d'une surcharge de ces parcours durant la quasi totalité de l'année.

Ainsi deux phénomènes apparaissent : le déséquilibre du cycle des éléments minéraux et en particulier N, P et K et la dégradation locale de la végétation et du sol. Cependant l'impact de ces deux actions diffère en fonction des conditions stationnelles.

L'analyse effectuée dans les parcours du Moyen Atlas (Maroc) mis en relief l'influence de l'éclairement aussi bien sur la biomasse récoltée que sur la teneur en azote de l'herbe, la teneur en azote du sol, C/N du sol...etc.

Les résultats exposés dans cette communication ont la particularité de donner une image du fonctionnement des écosystèmes pastoraux soumis à l'action destructive de l'homme et de ces animaux.

## 1- INTRODUCTION :

L'élevage qui est une activité principale du monde rural au Maroc et d'une manière générale en Afrique du Nord, assure son alimentation essentiellement des pâturages naturels. Ces pâturages sont constitués de terrains forestiers et de terrains de parcours proprement dit. Le parcours sous forêt est un droit d'usage reconnu par la législation au Maroc. Ce droit exercé avec un système de parcours libre à conduit les formations en question à des stades de dégradation irréversibles dans certains cas.

La production des parcours forestiers et non forestiers en Afrique du Nord est en constante diminution pour deux raisons essentielles :

- Surexploitation par l'homme et ses animaux.
- Appauvrissement continue des terrains de parcours par le système pratiqué.

Les solutions au premier problème nécessitent une action intégrée de tous les services intéressés en vue de rétablir l'équilibre agro-sylvo-pastoral.

L'analyse des différents terrains de parcours étudiés montre en général un déséquilibre dans la richesse des sols en éléments minéraux (N,p,K essentiellement). Ceci peut être expliquer par deux points :

- Le système d'élevage pratiqué par les éleveurs conduit à une exportation d'éléments supérieure à la restitution. En effet, les éleveurs entraîne l'accumulation des fèces dans des endroits hors parcours : enclos à côté des habitations ou dans les terrains de culture. Le peu d'excrétats lâché sur le terrain se décompose très mal sous l'effet des conditions écologiques et environnantes généralement défavorables.

- La dégradation du couvert végétal modifie les conditions microécologiques des stations ce qui entraîne une perturbation dans la décomposition de la matière végétale au sol (litière) et par conséquent une diminution de la fertilité des sols.

Dans la région de Domes du massif central (France), Loiseau et Merle (1979) ont essayé de chiffrer les conséquences du mode d'exploitation dans lequel les troupeaux, conduit la journée sur le terrain de parcours sont concentrés dans la nuit dans un parc.

L'influence de la durée du transfert de la fertilité a été analysé sur plusieurs paramètres :

- Composition botanique : Sur deux types de sols (volcanique et granitique) il a été observé une dégradation à long terme de la composition botanique qui est fonction croissante de la durée du mode d'exploitation traditionnelle.

- Production totale : La production diminue avec la durée de l'exploitation appauvrissante. La perte est de 50 % et 70 % respectivement sur parcours exploités traditionnellement depuis 30 et 60 ans.

- Teneurs de l'herbe produite et la mobilisation des éléments minéraux et de l'azote : L'étude a montré que les teneurs en éléments minéraux (N,P,K) décroissant en fonction de la durée de l'appauvrissement.

Lorsque la végétation commence à se dégrader, les espèces oligotrophes et mauvaises fourragères, capable de mieux valoriser le peu d'éléments minéraux disponibles se développent.

Dans quatre peuplements forestiers de l'Est de la France (Epicea, pin. sylvestre, feuillus), Aussense et al (1972) ont trouvé que les teneurs en azote, phosphore et Potassium des débris arrivant au sol passent par un minimum en Septembre, Octobre et Novembre et par un maximum au printemps.

Pour le calcium le phénomène est inversé c'est-à-dire qu'il passe par un maximum en automne et un minimum au printemps.

Certains auteurs (Rorison (1960) ; Gigon et Rorison (1972) ; ERNST (1978) etc...) ont pensés que le comportement calcicole ou calcifuge des espèces pouvait être en relation avec leur type de nutrition azotée (ammoniacal et nitrique)

Cole (1981) estime que dans la plupart des conditions forestières le rapport  $\text{NNH}_4/\text{NNO}_3$  est de 10 au plus.

Le Tacon et al (1982) ont montré, en conditions contrôlées, que pour certains espèces, le caractère "calcicole" et "calcifuge" pouvait être partiellement déterminé par le type de nutrition azotée et qu'inversement, la présence ou l'absence de carbonate de calcium dans le milieu pouvait totalement modifier la préférence des espèces pour l'une ou l'autre forme de l'azote.

Lemoine et al (1983) ont étudié l'influence de l'intensité lumineuse sur la production de la Fétuque à Pissos (FRANCE) dans 4 classes du couvert :

- 100 % de l'éclairement
- 60 % " "
- 45 % " "
- 25 % " "

Les résultats sont très variables selon les conditions climatiques :

+ en année sèche la lumière ne joue pas le rôle de facteur limitant : au-delà d'un taux d'éclairement de 40 à 60 %, les rendements n'augmentent plus. L'eau est alors facteur limitant.

+ en année humide, le facteur limitant n'est plus l'eau mais la lumière.

+ quelle que soit l'année au-dessous d'un éclairement voisin de 40 %, la production est limitée par manque de lumière.

## 2- EVOLUTION DES TENEURS EN AZOTE DU SOL ET DE L'HERBE RECOLTEE DANS QUATRE MILIEUX FORESTIERS ET PREFORESTIERS DU MOYEN ATLAS CENTRAL (MAROC).

QARRO (1985) a mené une étude de productivité de la strate herbacée dans quatre milieux écologiques différents :

- Chénaie verte -à Oxycèdre du semi-aride tempéré (9 sous-stations).
- Chénaie verte pure du sub-humide frais (8 sous stations)
- Cedraie à sous étage de chéna vert de l'humide frais froid (6 sous-stations).
- Pelouse d'altitude de l'humide froid à très froid (1 sous-station).

Le protocole expérimental réalisé porte donc sur 24 sous-stations réparties dans les 4 milieux en fonction de l'éclairement, la pente et l'exposition.

Cinq coupes sont exécutées chaque année et durant deux années agricoles : 1982-83, 1983-84.

La première coupe se situe généralement vers la fin de Février, les autres suivent à un mois environ d'interval et la dernière se place au début du dessèchement de la végétation. Cependant les conditions climatiques de la première année n'ont permis d'exécuter que 4 coupes dans le premier milieu.

Les périodes simples séparant le démarrage de la végétation et la première coupe, la deuxième coupe et la troisième, et ainsi de suite sont appelées respectivement P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub> et P<sub>5</sub>.

## 2.1 La contribution des Légumineuses

Le recouvrement arboré est le premier facteur qui affecte la contribution des légumineuses selon une courbe quadratique dont le maximum est situé entre 30 et 50% (vers 40%). Un trop fort recouvrement, au delà de 60 %, ou un trop faible, inférieur à 20 % cré des conditions défavorables aux légumineuses qu'on interprète par une insuffisance de lumière ou un excès de sécheresse .

Le pH de l'horizon supérieur est le deuxième facteur, très important aussi on observe le même type de réponse positive au pH dans les prairies naturelles de France (F de Montard et al Fourrages 1983).

La teneur en K du sol est un facteur modestement actif mais significatif On sait que les légumineuses souffrent fortement de la compétition des graminées pour l'absorption de K .

L'orientation joue un rôle à peine significatif: l'ouest est beaucoup plus favorable que l'est ( 18 points de différence d'index ) .

	Constante	=	- 113	variance expliquée %
Recouvrement %	+ 1.35	}		38.7
(Recouvrement %) <sup>2</sup>	- 0.0186			
pH horizon 1	+ 16.7			
K échangeable de sol	+ 10.8			- 5.5
Orientation (W ou E, 1 ou -1) (Net S = 0)	+ 9.17			- 4.9
	<u>M = 22</u>			<u>76.4</u>

## 2.2. Azote du sol

Les teneurs d'azote contenues dans les horizons supérieurs des sols de la zone étudiée fluctuent beaucoup entre les différents étages de végétation. En effet, les plus basses teneurs sont observées dans les sols de la Chénaie à Oxycèdre et les plus élevées apparaissent en altitude où elles varient encore en fonction des sites.

Le programme de regression multiple à permis de retenir trois facteurs dont un sous forme quadratique :

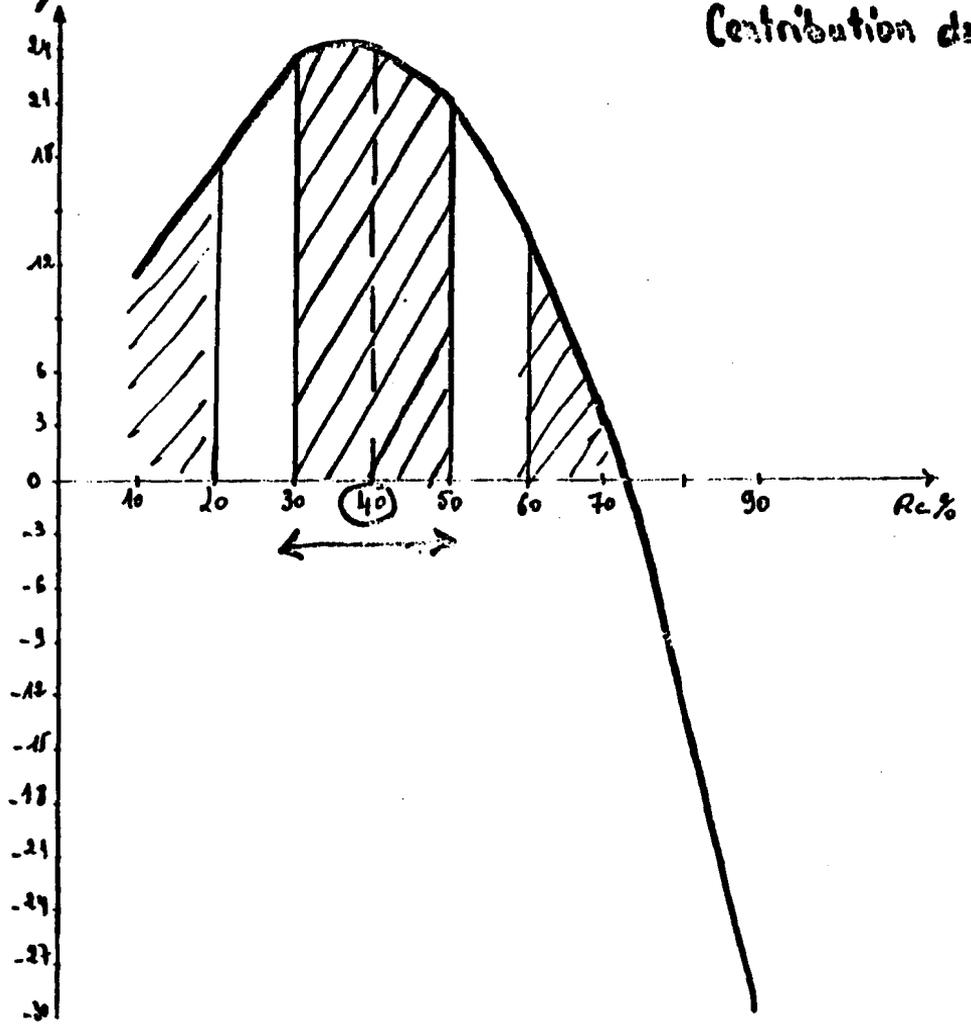
2,44 :	constante
- 0,120 =	Recouvrement arboré en %
- 0,002 =	Recouvrement élevé au carré
+ 0,21 =	Jours de rosée
+ 0,13 =	Jours de Gelée

Coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) = 0,850

634

$f(R, R^2)$

# Contribution des Légumineuses



### Action du recouvrement

Les teneurs en azote du sol sont très liées à la matière organique qui est à son tour dépendante des caractéristiques écologiques et biologiques des sites. Ainsi, le recouvrement arboré joue le grand rôle par l'apport de matière végétale (feuilles) et des conditions thermiques et d'humidité favorables à la décomposition de la matière organique brute.

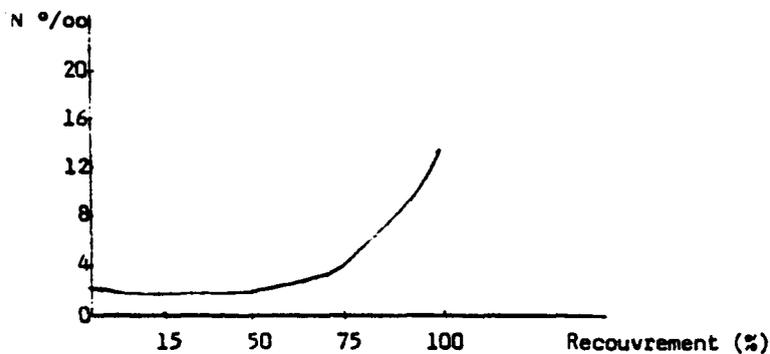
Le recouvrement sous forme simple permet d'expliquer 45 % de la variabilité des teneurs d'azote, tandis que le recouvrement élevé au carré permet l'explication de 60 % de la variance totale.

La formule obtenue sans tenir compte de ce dernier facteur ((recouvrement)<sup>2</sup>) se présente de la manière suivante :

	1,63	constante
N pour mille du sol	0,05	: Recouvrement (%)
	0,23	: Jours de rosée
	0,14	: Jours de gelées.

Coefficient de détermination ( $R^2$ ) = 0,634

La mise en jeu de la forme quadratique du recouvrement ( $x^2 - x$ ) permet de gagner 22 % d'explication de la variabilité d'azote, ce qui est très important. Cette expression indique une courbe ascendante avec une pente forte entre 75 et 100 %.



## Action du climat

Les facteurs de gelée et rosée ont une répartition croissante en fonction de l'étagement altitudinal. Leur action positive s'explique par le fait que l'humidité favorise l'activité microbienne du sol.

Il apparaît clairement que la teneur d'azote du sol est très liée à l'ambiance climatique et à l'environnement. En effet dans les conditions méditerranéennes les facteurs représentant le climat dans le modèle mathématique (gelée, rosée) revêtent une grande importance. D'autre part, le recouvrement arboré est le facteur qui tamponne l'action humaine et animale destructive des écosystèmes forestiers. Les sites situés sous des couverts importants se caractérisent par des conditions microclimatiques qui permettent une évolution du sol et particulièrement de la matière organique.

### 2.3. Le rapport : Carbone, Azote, (C/N)

Le rapport C/N qui indique la nature de l'humus, peut être aussi exprimé en fonction des facteurs climatiques et stationnels. Cependant ce paramètre est délicat et il est toujours peu corrélé à ces facteurs dans toutes les situations étudiées à ce jour.

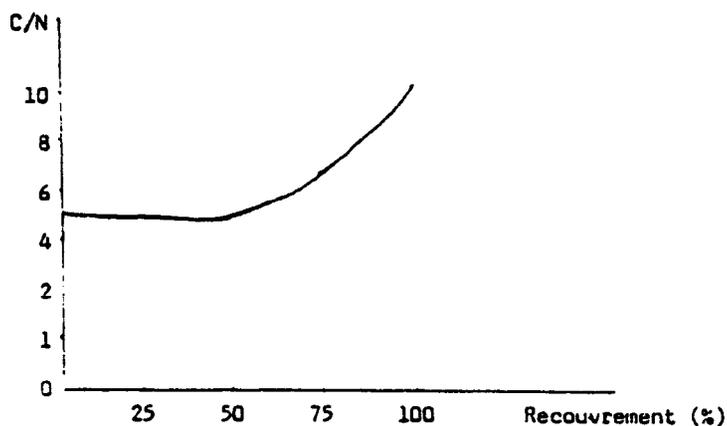
Les régressions multiples ont permis de dégager trois facteurs dont un sous forme quadratique et les deux autres sont les résultats d'interaction de deux ou plusieurs facteurs :

	5,4	Constante
C/N	- 0,006	: Recouvrement arboré en %
	0,001	: Recouvrement élevé au carré
	0,202	: Jours de rosée plus gelée
	0,0003	: Amplitude x éclaircissement x (ETP/température moyenne)

Coefficient de détermination ( $R^2$ ) = 0,62

Dans ce modèle on retrouve les mêmes facteurs définis pour l'azote du sol auxquels s'ajoute le facteur complexe déterminé par les interactions de l'amplitude moyenne journalière, l'éclairement l'ETP et la température moyenne. Ce facteur conjugué les effets climatiques, de l'altitude et du recouvrement. L'action de la gelée et de la rosée sont semblables, c'est ainsi que leur sommation a permis d'obtenir le même effet sur le rapport C/N.

La forme quadratique du recouvrement ( $x^2 - x$ ) indique aussi une courbe ascendante de même allure que dans le cas précédent. Entre 0 et 50 %, le peuplement arboré a peu d'effet sur la nature de l'humus dans les conditions de ces parcours surpâturés.



## 2.4. La teneur en azote de l'herbe

*La teneur en azote des récoltes sur les périodes simples*

( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  et  $P_5$ ) est strictement conditionnée par l'ensemble des facteurs de l'environnement. Ceci est d'autant plus net si l'on adopte une vue d'ensemble qui permettra d'intégrer les variations de la température liées à la saison et à l'altitude.

Il apparaît que l'année a peu d'influence: les mêmes facteurs explicatifs interviennent en 82-83 et en 83-84 avec des coefficients de régression très voisins. La constante des effets de:

- Pente x exposition
- Recouvrement arboré
- Température
- I/K échangeable (richesse en K du sol)

sont remarquables .

Par contre, les interactions (azote du sol/déficit hydrique) et (pluie x réserve H2) sont moins stables d'une année à l'autre .

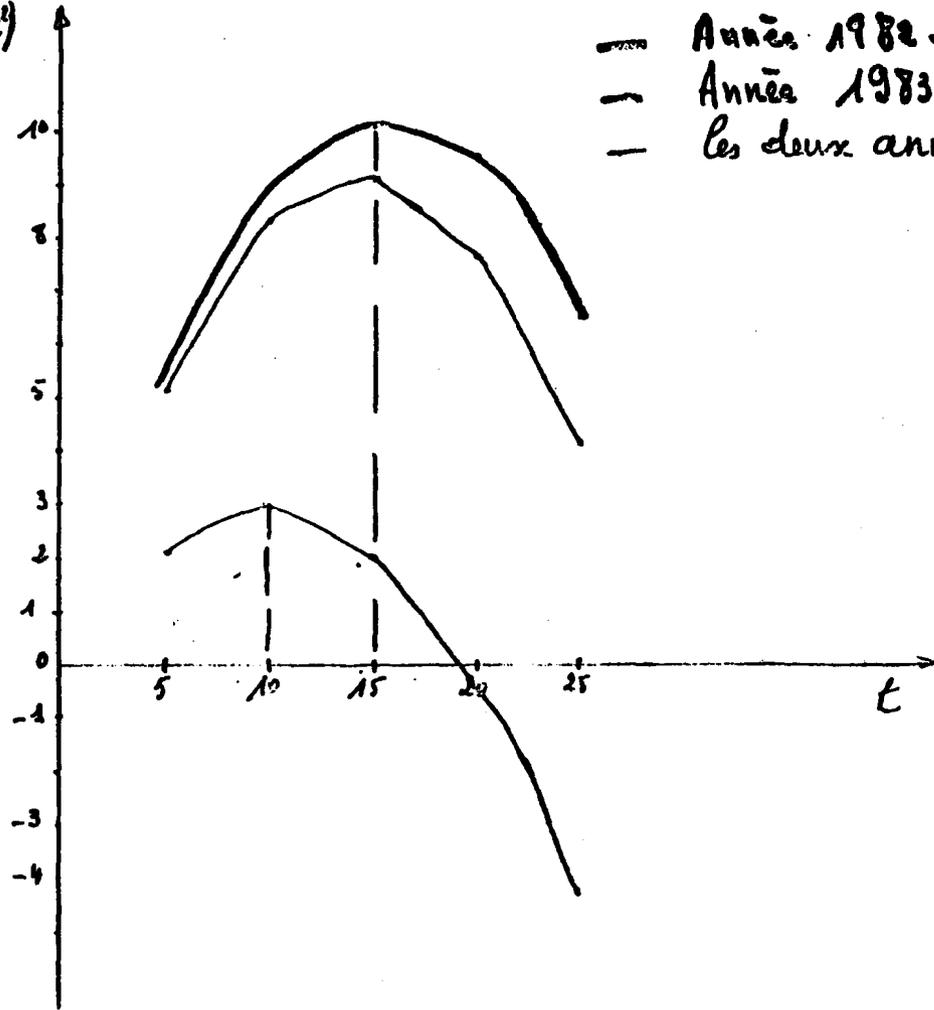
La comparaison des 4 stations fait apparaître:

- (1) le facteur température dans tous les cas sous forme quadratique en général ou sous forme linéaire en pelouse, en raison des conditions microécologiques particulières.
- (2) l'interaction (pente x exposition) a un effet très semblable dans les deux où elle s'exprime (chênaie à oxyèdre et chênaie verte pure).
- (3) l'interaction (K sol/déficit hydr.) s'exprime dans la chênaie et la cédraie avec des intensités voisines .
- (4) l'interaction (pluie x réserve utile H2) ne s'exprime pas dans la chênaie à oxyèdre à cause des faibles variations. Elle est nette en cédraie et pelouse .
- (5) le recouvrement arboré s'exprime en chênaie à oxyèdre et en cédraie et pelouse mais dans un sens différent . Il reste à tester la forme quadratique au niveau de la chênaie verte pure.

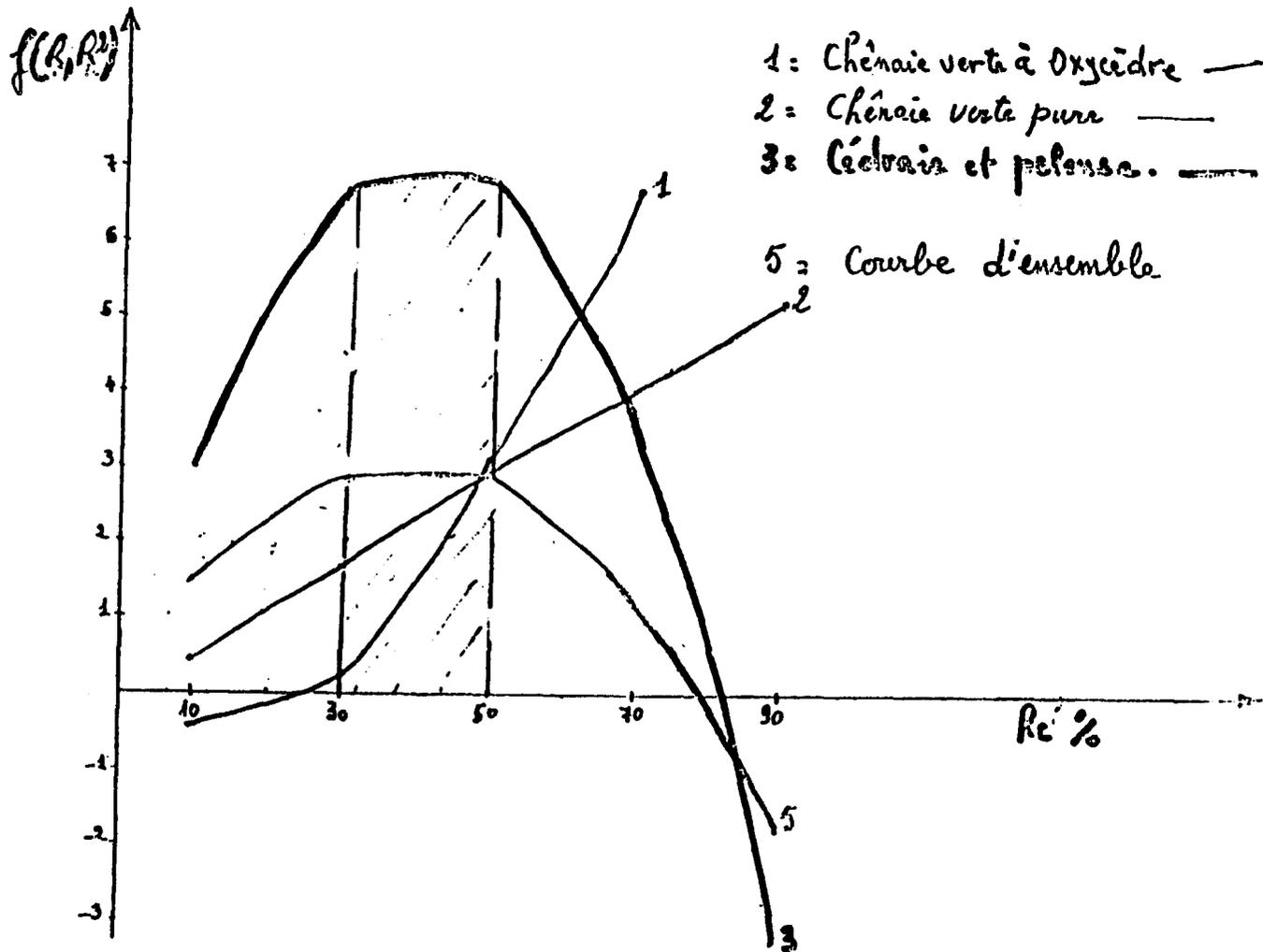
# N° de l'herbe récoltée (Tenen)

639

	<u>1982-83</u>	<u>1983-84</u>	Les deux années 7.19
Constante :	6.8	16.6	
Pente x Exposition	+0.0713	+0.0573	+0.0787
Ajuste du p.p. / Déficit hydrique	+0.736	+0.484	+0.871
Roulement %	+0.141	+0.180	+0.133
{ (Roulement%) <sup>2</sup>	-0.00183	-0.00772	-0.00143
Température moyenne	+1.31	+0.690	+1.28
{ (Température moy.) <sup>2</sup>	-0.0417	-0.0310	-0.0446
1 / K échangeable	-1.36	-0.906	-0.968
Pluie (mm) x (P.p. H <sub>2</sub> x P.V. H <sub>2</sub> )	+0.00321	+0.00171	+0.00314
	<u>R<sup>2</sup> = 0.713</u>	<u>R<sup>2</sup> = 0.746</u>	<u>R<sup>2</sup> = 0.701</u>
	<u>n = 50</u>	<u>n = 45</u>	<u>n = 95</u>

$f(t, t)$ 

— Années 1982-83  
— Années 1983-84  
— Les deux années.



## 2-5. Les exportations d'azote

La matière sèche et les quantités d'azote exportées dépendent d'un ensemble de facteurs parmi lesquels les facteurs météorologiques tiennent une place dominante .

On connaît exactement la durée des périodes P2 à P5 : c'est la durée entre deux coupes successives et on a donc aucune difficulté pour calculer les variables climatiques correspondantes.

Par contre la période P4 a une date initiale imprécise puisque le démarrage de la végétation varie selon l'année et selon l'altitude. Par souci de simplicité, on a pris pour point de départ la date du 1er novembre pour cette période.

Compte tenu du mode de calcul particulier des paramètres climatiques de la période P4 basé sur une date initiale conventionnelle, la recherche des facteurs actifs sur l'exportation d'azote a été faite séparément pour P4 (20 observations) et pour les 4 autres périodes (75 observations).

### 2.5.1 N exporté en période P4 en kg/ha/an ETR .

En période P4 le flux d'azote comparé au flux de l'évapotranspiration réelle dépend très étroitement de l'indice légumineuses et de la proportion de jours humides sous forme de pluie, de rosée, de brouillard ou même seulement un écran de nuages ; le rapport C/N indique un frein à la disponibilité en azote par suite d'une faible minéralisation .

	Constante		variance expliquée %
	- 0.036		
Jours de pluie %	+ 0.222	---	43,0
Jours de nuages %	+ 0.165	-	24,8
C/N x N's de jours (Pl + Ros + Br)	- 0.3 x 10 <sup>-4</sup>	---	16,4
Légumineuses (indice legum)	+ 2.4 x 10 <sup>-4</sup>	---	4,2
Jours de brouillard %	+ 0.115	-	3,8
			<hr/> 92,2

moyenne : 0.017 .  $\sigma = 0.0146$   
 Ecart type résiduel = 0.00407  
 Coefficient de variation : 23.9%  
 $n = 20.$

2.5.2 - N exporté de P2 à P5 en kg/ha/ann ETR

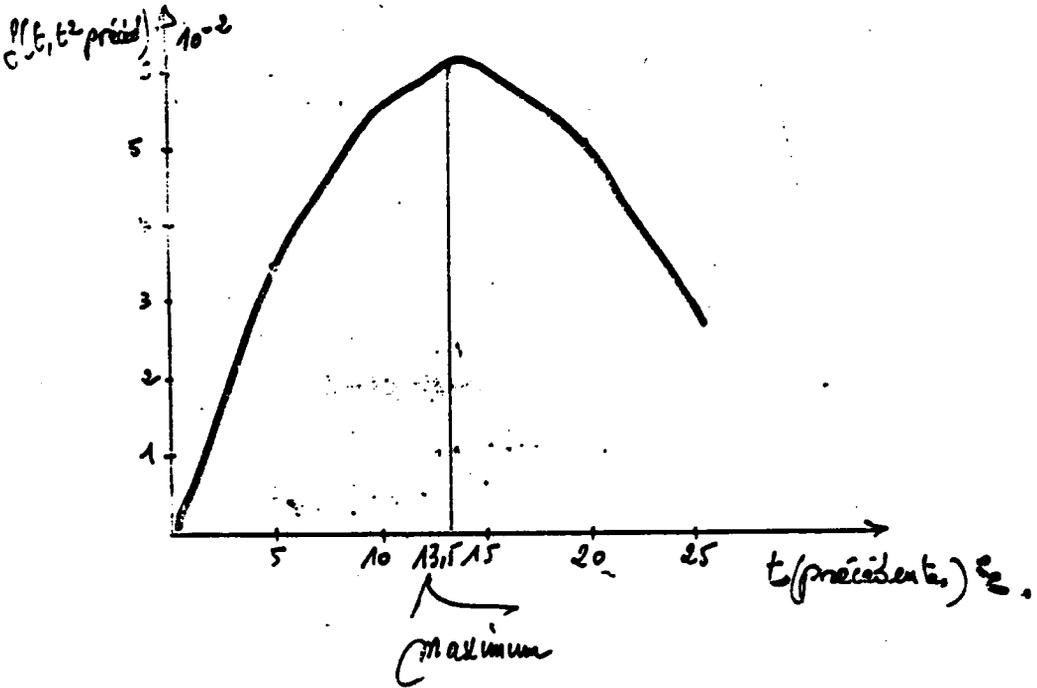
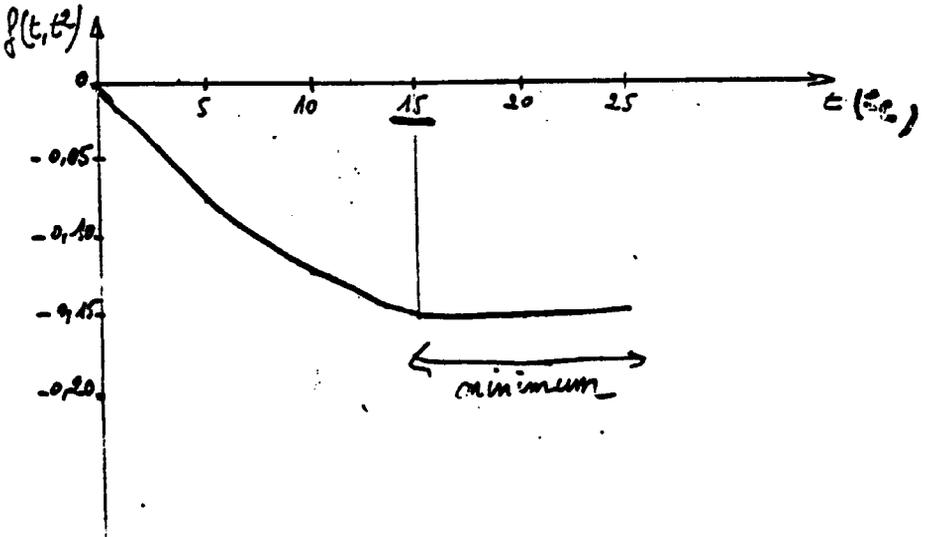
La température moyenne de la période considérée joue le rôle primordial qui montre le minimum d'azote exporté entre 15 et 25 °C. La température de la période précédente est aussi significative et indique le maximum vers 13,5°C.

Le recouvrement arboré et son interaction avec l'amplitude jouent le deuxième rôle dans le modèle retenu. Il est aussi bien remarquable l'importance des proportions de jours humides sous différentes formes.

		Variance expliquée %
Constante	= -0.197	
température moyenne	-0.016	} 35.8
(température moyenne) <sup>2</sup>	+0.00042	
Recouvrement	-0.00141	
Amplitude x Eclaircissement	-0.7 x 10 <sup>-4</sup>	
R. U. H <sub>2</sub> (en % d'humidité)	+0.00294	
température moyenne précédente	+0.00839	} 3.2
(température moyenne précédente) <sup>2</sup>	+0.00029	
C/N x Nb de jours (Pl + Ros + Br)	-0.0053	} 6.9
Nb de jours (Pl + Ros + Br)	+0.00687	
Nb de jours de sécheresses	+0.00506	5.5
		<hr/> 71.4

moyenne = 0.0443     $\sigma = 0.0503$

$n = 74$ .



## BIBLIOGRAPHIE

- AUSSENAC.G., BONNEAU.M., Le TACON.F., 1972 - Restitution des éléments minéraux au sol par l'intermédiaire de la litière. Oecol. plant. Tome 7. n°1.
- COLE.D.W., 1981 - Nitrogen uptake and translocation by forest ecosystem in terrestrial nitrogen cycles. Ecologica Bulletins 33, F.E. Clark et T. Rosswall es., Box 6711, 5 11385 Stockholm.
- ERNST.W., 1978 - Discrepancy Between ecological and physiological optima of plant species. A interpretation- Oecol.plant., 12(1), 1-22.
- GIGONA. et RORISON.I.H., 1972 - The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and ammonium nitrogen. J. Ecol. 60, 93-102.
- Le TACON.F., TIMBAL. J et VALDENNAIRE.J.M., 1982 - Influence de la forme d'azote minéral sur la croissance d'espèces herbacées herbacées forestières. Oecol.plant., vol.3 (17), n°3, p.307-318.
- LEMOINE.B., DONHOMMED., CHINZID., COMPS.B., BERGERET.H., GELPE.J., JUSTE.C. et MANET.M., 1983 - Elevage en Forêt dans les landes de Gascogne. I. Le système végétal- Ann. Sci. For.40(1), 3-40.

- LOISEAU.P., MERLE.G., 1979 - Influence du mode d'exploitation traditionnel sur l'état des parcours dans la région des Domes. Fourrages. N° 79.
- RORISON.I.H., 1960 - The calcicole-calcifuge problem. II. The effects of mineral nutrition on seedling growth in solution culture. J. Ecol., 48, 679-688.
- QARRO.M., 1985 - Etude la productivité du tapis herbacé de la zone du Moyen Atlas (Maroc) - Thèse de Doctorat d'état. Université d'Aix Marseille III. 258p.