

## Article de recherche

# Suivi saisonnier des teneurs en azote minéral dans les sols forestiers du Jura, aux étages collinéen et montagnard

Y. Tavant, H. Tavant et S. Bruckert

*Faculté des Sciences-Laboratoire de pédologie, place Leclerc, 25030 Besançon Cedex, France*

(reçu le 4 janvier 88; accepté le 12 octobre 88)

**Résumé** — Les auteurs ont suivi l'évolution saisonnière de l'azote minéral des principaux sols forestiers du Jura Central, depuis l'étage collinéen vers 230 m d'altitude jusqu'à l'étage montagnard supérieur vers 1 350 m. Entre ces deux étages, les températures moyennes annuelles baissent de 10°C à 5,4°C et la pluviométrie augmente de 900 mm à 2 000 mm.

Les sols étudiés se rattachent aux sols lessivés à pseudogley, aux sols colluviaux brunifiés, aux sols bruns à pellicules calcaires et aux sols humo-calciques.

Les teneurs en azote nitrique et ammoniacal, déterminées au printemps, en été et à l'automne, opposent les sols collinéens aux sols montagnards :

- dans les premiers, les teneurs estivales passent par un minimum, les valeurs de printemps et d'automne étant plus élevées;
- dans les seconds, en revanche, les teneurs estivales deviennent maximales.

Quel que soit le type de sol, l'excédent des gains d'azote sur les pertes augmente avec l'altitude. Nous avons explicité ces faits d'origine climatique, en déterminant les taux de saturation en eau des sols, rapportés à l'humidité équivalente, et en tenant compte des températures. Il en ressort que le déficit hydrique climatique constitue le facteur limitant de la minéralisation d'azote à l'étage collinéen (chênaie-charmaie); en revanche, l'absence de déficit hydrique en été, associée à des températures favorables à l'ammonification et à la nitrification, stimule la minéralisation estivale d'azote à l'étage montagnard (sapinière-hêtraie et pessière).

**minéralisation – azote minéral – variations saisonnières – étages bioclimatiques du Jura – sols calcimagnésiques humifères – sols brunifiés**

**Summary** — **The seasonal variation of the mineral nitrogen content in the forest soils of Jura on the collinean and mountain floors.** *This study deals with the seasonal variations of mineral nitrogen from main soils of bioclimatic sequences of Jura mountains. The areas rise by successive levels from collinean level (around 230 m; annual average  $t^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 900$  mm) to mountain level (around 1.350 m;  $t^{\circ} = 5,4^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 2.000$  mm).*

*Residual ammonium and nitrate contents are determined in spring, summer and autumn. The amounts of mineral nitrogen set collinean soils against mountain soils :*

- *in the first place, the amounts of mineral nitrogen exhibit one minimum noted in summer between two maxima in spring and in autumn;*
- *in the second place, the nitrogen contents are maxima in summer.*

*Whatever soil series, the nitrogen contents increase with altitude. To explain these climatic factors we take into account the effects of air temperatures and soil water contents (expressed by percent of retained water capacity).*

*The following conclusions can be drawn : moisture deficiency is a limiting factor of mineralization in collinean level, but in mountain level the favorable temperatures in summer, associated with balanced supply of moisture, stimulate the nitrogen mineralization.*

***mineralization – mineral nitrogen – seasonal variations – bioclimatic levels of Jura mountains – «humo-calcique» soils – brown soils***

## Introduction

La teneur en azote minéral d'un sol résulte de plusieurs processus antagonistes, essentiellement biologiques (Dommergues et Mangenot, 1970). C'est pourquoi, en dosant l'azote ammoniacal et nitrique à un instant donné, on détermine la différence entre des gains (minéralisation nette) et des pertes (absorption par les végétaux et lessivage).

Or, cette différence, si elle ne permet pas d'estimer la production d'azote minéral, renseigne au moins sur l'importance de l'excédent des gains par rapport aux pertes. C'est cet aspect du problème que nous avons examiné, en déterminant la teneur en azote ammoniacal et nitrique dans des horizons A<sub>1</sub> de sols forestiers, récoltés à trois époques précises de l'année : au printemps, en été et à l'automne.

Les processus qui affectent le bilan étant liés aux conditions climatiques, nous avons profité de l'étagement altitudinal jurassien pour choisir des stations échelonnées entre 230 et 1 350 m, selon un important gradient de température et de pluviométrie.

### *Les données régionales*

Les sols forestiers, sélectionnés à partir d'une quinzaine de stations appartiennent

aux principaux étages altitudinaux : la Vallée de l'Ognon (200-300 m), les Avant-Monts (400-600 m) et le Premier Plateau (550-650 m) au collinéen, le Deuxième Plateau au montagnard inférieur (800-900 m), la Haute-Chaîne au montagnard moyen (900 -1 000 m) et au montagnard supérieur (1 100 - 1 400 m).

A chaque niveau altitudinal, nous avons choisi les sols forestiers les plus caractéristiques et les plus répandus régionalement (Tableau I) :

- dans la Vallée de l'Ognon : les sols lessivés à pseudogley (Bidault *et al.*, 1980);
- dans les Avant-Monts et sur le premier Plateau : un sol brun lessivé, un sol colluvial brunifié lessivé (Gaiffe et Bruckert, 1985) et deux sols bruns à pellicules calcaires (Bruckert et Gaiffe, 1980);
- sur le Deuxième Plateau et dans la Haute-Chaîne : deux sols colluviaux brunifiés lessivés, deux sols bruns à pellicules calcaires et deux sols humocalciques (Gaiffe et Schmitt, 1980);

Le substrat est constitué de calcaire jurassique moyen (Bathonien, Bajocien) et supérieur (Kimmeridgien). La pédogenèse, continue depuis l'ère tertiaire à l'étage collinéen, fait que les sols de la Vallée de l'Ognon, formés à partir d'altérites anciennes acides, sont peu influencés par le calcaire. Les sols des plateaux et de la Haute-Chaîne, rabotés au cours des glaciations quaternaires, sont très dépen-

**Tableau I.** Situation générale et caractéristiques des écosystèmes étudiés.

<i>Etages altitudinaux</i>	<i>Localisation</i>	<i>Association forestière</i>	<i>Altitude Pente-Exposition</i>	<i>Substratum</i>	<i>Type de sol</i>	<i>Sigle du sol</i>	<i>Type d'humus</i>	
C o l l i é e n	de l' O n	Chevigny	Chênaie-Hêtraie mésoacidiphile Variante fraîche	235 m Terrasse plane	Limons/alluvions de l'Ognon	Lessivé acide à pseudogley	S <sub>11</sub>	Moder
		Chevigny	Chênaie-Hêtraie Variante fraîche	230 m Terrasse plane	Limons/alluvions de l'Ognon	Lessivé à pseudogley	S <sub>12</sub>	Mull moder
		Thurey	Chênaie-Hêtraie Variante enrichie	281 m Terrasse plane	Limons/alluvions de l'Ognon	Lessivé à pseudogley	S <sub>13</sub>	Moder
		Germondans	Chênaie-Hêtraie Variante enrichie	280 m Légère pente	Limons/alluvions de l'Ognon	Lessivé à pseudogley profond	S <sub>14</sub>	Mull moder
A v a n t	M o n t s	Braillans	Chênaie-Charmaie mésotrophe	330 m Fond de doline	Matériaux limoneux de remplissage	Colluvial brunifié lessivé	L <sub>21</sub>	Mull mésotrophe
		Tallenay	Chênaie-Charmaie calcicole	390 m Pente 20° S-SE	Terra fusca sur dalle calcaire	Brun à pellicules calcaires	P <sub>21</sub>	Mull eutrophe
1 <sup>er</sup>	P l a t e a u	Bouclans	Chênaie-Charmaie mésotrophe à tendance acidiphile	465 m - sommet Légère pente	Limons/terra fusca Calcaire Rauracien	Brun lessivé polycyclique	L <sub>31</sub>	Mull mésotrophe
		Naglans	Chênaie-Charmaie mésotrophe neutrophile	455 m Plateau	Limons/calcaire Bathonien	Brun à pellicules calcaires	P <sub>31</sub>	Mull eutrophe
M o n t a r g i e n a u r d	2 <sup>e</sup>	Levier	Hêtraie sapinière mésotrophe fraîche	725 m Large dépression	Limons de remplissage	Colluvial brunifié lessivé	L <sub>41</sub>	Mull mésotrophe
	P l a t e a u	Levier	Hêtraie sapinière typique	730 m Pente 10° S-SE	Calcaire légèrement marneux du Séquanien	Brun à pellicules calcaires	P <sub>41</sub>	Mull eutrophe
		Levier	Hêtraie à dentaire	825 m - replat sur pente de 30° N-NW	Calcaire dur concassé	Humocalcique	H <sub>41</sub>	Mull calcique
M o y e n  S u p é r i e u r	H a u t e	Bonnevaux	Hêtraie sapinière à fétuque	900 m Pente 25° W-NW	Calcaire très dur du Séquanien	Brun humifère à pellicules calcaires	H <sub>51</sub>	Mull eutrophe
		Risol	Hêtraie à érable fraîche	1272 m Fond de doline	Limons de remplissage/ blocs colluvionnés (Kimmeridjien karstifié)	Colluvial brunifié lessivé	L <sub>51</sub>	Mull mésotrophe
	S u c h a p é r i e u r	Risol	Hêtraie à érable fraîche	1320 m Pente 5°	Dalle calcaire dolimitique (Kimmeridjien)	Brun à pellicules calcaires	P <sub>51</sub>	Mull eutrophe
		Risol	Hêtraie à érable typique	1335 m Plateau	Calcaire dur concassé (Kimmeridjien)	Humocalcique	H <sub>52</sub>	Mull calcique

dants des calcaires à partir desquels ils se développent.

Le climat jurassien de type atlantique se caractérise par de forts écarts thermiques auxquels s'ajoute une pluviométrie abondante. Le gradient altitudinal responsable du gradient climatique induit de forts contrastes entre les différents niveaux altitudinaux. De l'étage collinéen à l'étage montagnard, la moyenne annuelle des températures baisse de 10°C à 5,4°C, tandis que la pluviométrie s'élève de 900 mm à 2 000 mm. Ces variations climatiques se reflètent au niveau de la végétation : du point de vue phytosociologique, les étages de végétation correspondent à l'alliance du Carpinion (Chênaie-Charmaie) au collinéen puis à l'alliance du Fagion (Hêtraie) au montagnard.

## Matériel et Méthodes

### Les sols

Nous rappellerons ici les principales caractéristiques des quatre types de sols étudiés. Les descriptions et analyses complètes sont données par ailleurs (Tavant, 1986).

#### Sol lessivé à pseudogley

Situé en position horizontale sur d'anciennes terrasses, ce sol occupe de larges surfaces du plateau de Besançon entre les vallées de l'Ognon et du Doubs. L'humus, constitué des horizons L (litière) et A<sub>1</sub>, forme un moder ou un mull-moder oligotrophe. Sous la litière (5 cm), on trouve des fragments de végétaux et des déjections de microarthropodes. L'horizon A<sub>1</sub> se compose de particules organiques et minérales libres. Il renferme environ 5% de matière organique incomplètement humifiée. Sa capacité d'échange cationique de 12 m.e./100 g, est fortement désaturée (20%). Son pH est acide (4,7). L'horizon A<sub>2</sub> limono-sableux est fortement désaturé. L'horizon Btg<sub>1</sub> hétérogène, argilo-limoneux, de structure polyédrique présente de nombreux nodules d'oxydes de Fe et de Mn.

L'horizon Btg<sub>2</sub> est plus argileux et moins riche en oxydes métalliques.

#### Sol colluvial brunifié lessivé

Ce sol se localise dans les dépressions karstiques (dolines et combes, rencontrées à tous les étages du massif jurassien). Il se forme aux dépens de matériaux provenant de l'érosion des sols des plateaux environnants (Gaiffe et Bruckert, 1985). Il atteint 80-100 cm d'épaisseur et ne contient pas de cailloux. La granulométrie du profil est peu différenciée : à l'horizon A<sub>2</sub> limoneux, succède l'horizon B peu enrichi en argiles par lessivage.

L'humus est un mull mésotrophe constitué de la litière de l'année et d'un horizon A<sub>1</sub> structuré en petits agrégats fragiles. La teneur en matière organique augmente de 6 à 11% de l'étage collinéen à l'étage montagnard. Le pH est voisin de 5 et le taux de saturation de 40%.

#### Sol brun à pellicules calcaires (Bruckert et Gaiffe, 1980)

Ce sol superficiel se forme sur bancs calcaires compacts peu diaclasés. Il a pour principale origine le résidu argilo-limoneux d'altération des calcaires, auquel s'ajoutent des limons éoliens. L'humus est un mull. Sous la litière de l'année, l'horizon A<sub>1</sub> est structuré en gros agrégats subanguleux stables. Il est eutrophe mais légèrement désaturé (taux de saturation 80%). Sa teneur en matière organique augmente du collinéen au montagnard et varie, pour un même étage altitudinal, en fonction du drainage induit par le banc calcaire sous-jacent (Blonde *et al.*, 1986).

La teneur en matière organique diminue dans l'horizon B, de structure polyédrique. La terre fine ne fait jamais effervescence, à l'exception de la pellicule d'altération laissée par la roche.

#### Sol humocalcique

Situé en position horizontale, ce sol est lié à la composition (pure) et à l'état (dur et concassé) des bancs calcaires (Bruckert et Gaiffe, 1980). Le profil, à la fois peu différencié et peu profond, renferme des cailloux uniformément répartis dans la terre fine. L'humus est un mull calcique. Sous la litière de l'année, l'horizon A<sub>1</sub> est très humifère, avec 35-40% de matière organique bien humifiée. Il en résulte une capacité d'échange cationique très forte, de 60 à 80 m.e./100 g. Celle-ci est presque saturée par le

calcium (80-90%). Le pH est proche de la neutralité. La terre fine n'est pas calcaire. Elle est constituée d'agrégats très stables qui résistent à la pression des doigts.

### Méthodes

Au cours de l'année 1980, nous avons prélevé les horizons  $A_1$  des sols, au printemps, en été et à l'automne, aux dates suivantes :

Vallée de l'Ognon

Avant-monts 18 mars 29 juillet 28 octobre

1<sup>er</sup> Plateau

2<sup>e</sup> Plateau 31 mars 30 juillet 16 octobre

Haute Chaîne 4 juin 31 juillet 7 octobre

Ce calendrier tient compte de la durée de la saison de végétation observée à chaque niveau, plus précisément, des premiers stades du cycle de développement de la strate herbacée.

Pour chaque station, après avoir débarrassé la surface du sol de la litière, on prélève les cinq premiers centimètres de l'horizon  $A_1$  sur une surface de 1 m<sup>2</sup>. A partir de chaque récolte, répétée deux fois, un échantillon représentatif de  $A_1$  est réalisé. Le jour même, les échantillons sont émiettés et tamisés à 4 mm, puis traités. Une partie sert à déterminer l'humidité actuelle qui sera exprimée en pourcentage de l'humidité équivalente.

L'extraction de l'azote minéral est faite par KCl 0,5N, avec un rapport sol-solution de 1/4 et agitation mécanique pendant 1 heure. Après décantation la solution est filtrée. Le dosage colorimétrique de l'azote ammoniacal et nitrique est réalisé à l'auto-analyseur Technicon.

L'ammonium est déterminé selon la réaction de Berthelot. Les nitrates sont dosés après réduction par le sulfate d'hydrazine (réaction de Griess). Les nitrites éventuellement présents ont été intégrés aux nitrates.

### Résultats

#### *Variations saisonnières de la teneur en azote minéral*

Les fluctuations saisonnières des teneurs en azote minéral sont très différentes

selon l'altitude (Tableau II et Fig. 1). La divergence est particulièrement importante entre les deux étages extrêmes :

– dans la vallée de l'Ognon, la teneur en azote est *minimale* en été entre deux valeurs plus fortes au printemps et à l'automne;

– à l'étage montagnard supérieur, la teneur estivale devient *maximale*, les gains d'azote au printemps continuant d'augmenter en été et ne diminuant qu'en automne; à cet étage, les valeurs atteintes pendant la saison de végétation sont très fortes dans tous les sols.

Si l'on considère plus spécialement les valeurs estivales, la teneur en azote augmente significativement avec l'altitude (Tableau III). Les valeurs les plus faibles se trouvent dans les stations de la vallée de l'Ognon (5,5 ppm), les plus fortes dans les stations du montagnard supérieur (26,8 ppm). Le montagnard inférieur, dont les valeurs empiètent sur celles du collinéen supérieur et du montagnard supérieur, fait transition entre ces deux étages. Exprimés en Kg/ha d'horizon  $A_1$ , les résultats ci-dessus sont encore vérifiés (Tableau III).

#### *Humidité des horizons $A_1$ en fonction de la pluviométrie*

Pour savoir si l'humidité des horizons  $A_1$  est favorable ou non à la minéralisation de l'azote, nous avons comparé les humidités actuelles, lors des prélèvements, aux humidités équivalentes (Tableau IV). D'après les travaux de divers auteurs, l'activité minéralisatrice est à son optimum avec un taux de 70-80% de l'humidité équivalente (Stanford et Epstein, 1974; Mary et Remy, 1979; Faurie, 1980). C'est la valeur de référence que nous retenons.

**Tableau II.** Teneurs saisonnières en azote minéral (ammoniacal et nitrique. Dosage sur sol frais.) Résultats exprimés en ppm de sol sec à 105° C.

		<i>Stations</i>			<i>Printemps</i>			<i>Eté</i>			<i>Automne</i>				
		<i>Dates</i>			18 mars			29 juillet			28 octobre				
C O L L I N E E N	Vallée de l'Ognon	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min		
	S <sub>11</sub>	6,90	0,60	7,50	2,10	0	2,10	5,80	0,70	6,50					
	S <sub>12</sub>	8,60	3,50	12,10	2,10	4,10	6,30	8,90	8,80	17,70					
	S <sub>13</sub>	3,30	0,60	3,90	8,00	0	8,00	15,50	4,20	19,70					
	S <sub>14</sub>	13,60	0,70	14,30	5,80	0	5,80	24,90	1,60	26,50					
	Avant-Monts														
	L <sub>21</sub>	8,10	0,60	8,70	6,40	3,60	10,00	11,40	1,80	13,20					
	P <sub>21</sub>	11,40	3,00	14,40	2,10	6,60	8,70	7,90	0	7,90					
		<i>Dates</i>	31 mars			30 juillet			16 octobre						
	1 <sup>er</sup> Plateau	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min					
	L <sub>31</sub>	9,40	0	9,40	8,30	3,20	11,50	6,20	0	6,20					
	P <sub>31</sub>	2,70	0	2,70	7,10	4,00	11,10	11,40	1,60	13,00					
	M O N T A G N A R D		<i>Dates</i>	31 mars			30 juillet			16 octobre					
		Montagnard Inférieur	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min				
L <sub>41</sub>		7,70	2,70	10,40	15,80	5,50	21,30	11,80	1,70	13,50					
P <sub>41</sub>		9,90	0,80	10,70	7,80	2,70	10,50	11,90	0,80	12,70					
H <sub>41</sub>		8,80	9,70	18,50	3,00	15,50	18,50	19,30	27,40	46,70					
		<i>Dates</i>	4 juin			31 juillet			7 octobre						
Montagnard Supérieur		N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min	N NH <sub>4</sub>	N NO <sub>3</sub>	N min					
L <sub>51</sub>		4,10	0,70	4,80	22,00	0	22,00	9,90	1,40	11,30					
P <sub>51</sub>		19,00	1,90	20,90	22,80	2,20	25,00	7,90	0,60	8,50					
H <sub>51</sub>		7,00	11,20	18,20	3,50	18,50	22,00	10,50	2,00	12,50					
H <sub>52</sub>		10,70	16,70	27,40	12,90	25,40	38,30	17,20	7,50	24,70					

**Tableau III.** Azote minéral résiduel en été : moyennes et écarts-types, exprimés en ppm et en Kg/ha d'horizon A<sub>1</sub>.

<i>Etages</i>	<i>Vallée de l'Ognon</i>	<i>Avant-Monts 1<sup>er</sup> Plateau</i>	<i>Montagnard inférieur</i>	<i>Montagnard supérieur</i>
N minéral résiduel en ppm de t.s. à 105°C Kg/ha	5,55 ± 2,49 4,0 ± 2,5	10,33 ± 1,26 5,8 ± 1,6	16,80 ± 6,53 7,6 ± 2,0	26,78 ± 7,75 18,0 ± 5,4

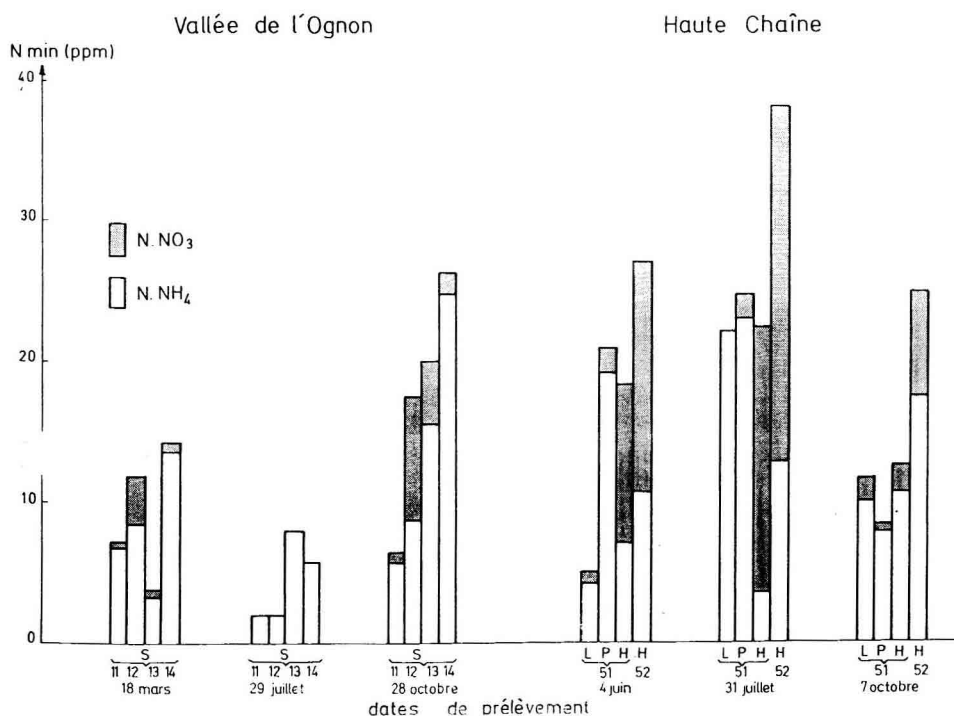


Fig. 1. Evolution saisonnière de l'azote minéral résiduel ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ ) aux étages extrêmes. Dosage sur sol frais. Résultats exprimés en ppm de sol sec à  $105^\circ\text{C}$  (pour la signification des sigles des sols, se reporter au Tableau I).

Les sols lessivés de la vallée de l'Ognon ont des valeurs d'environ 40-50%, donc nettement inférieures à ce seuil au printemps; leur teneur en eau remonte à l'humidité équivalente en été, puis redescend à environ 80% en automne.

A partir des Avant-Monts et jusqu'au montagnard inférieur inclus, on observe encore des humidités actuelles inférieures à ce seuil dans 4 sols sur 7 au printemps.

Au montagnard supérieur, le déficit hydrique climatique devient très rare (1 cas).

Compte tenu des conditions météorologiques journalières, on vérifie facilement que l'humidité de l'horizon  $A_1$  est étroite-

ment associée à l'évènement climatique (pluie ou temps sec) qui a précédé de peu le prélèvement. La relation étant vraie pour des mesures ponctuelles, on peut penser qu'elle est valable aussi pour des périodes de temps d'une certaine durée. C'est ainsi que les déficits hydriques, observés ponctuellement à l'étage collinéen et, dans une moindre mesure à l'étage montagnard inférieur, peuvent être étendus, par extrapolation, aux périodes sèches suivantes de l'année d'étude :

- la 2<sup>e</sup> moitié du printemps, plus précisément la 2<sup>e</sup> décade d'avril, la 2<sup>e</sup> décade de mai,

- la 2<sup>e</sup> moitié de l'été et le début de l'automne, notamment deux décades en août,

Tableau IV. Humidité actuelle des sols.

Stations		Printemps H.A.* (%H.E.)	Été H.A. (%H.E.)	Automne H.A. (%H.E.)
Dates		18 mars	29 juillet	28 octobre
C O L L I N E E N	Vallée de l'Ognon			
	S <sub>11</sub>	52	91	74
	S <sub>12</sub>	48	108	83
	S <sub>13</sub>	40	92	78
	S <sub>14</sub>	59	117	107
	Avant-Monts			
	L <sub>21</sub>	88	87	71,5
	P <sub>21</sub>	28	70	90
	Dates	31 mars	30 juillet	16 octobre
	1 <sup>er</sup> plateau			
L <sub>31</sub>	82	100	91	
P <sub>31</sub>	61	76	68	
M O N T A G N A R D	Montagnard inférieur			
	L <sub>41</sub>	35	94	83
	P <sub>41</sub>	57	68	65
	H <sub>41</sub>	70	81	82
	Dates	4 juin	31 juillet	7 octobre
	Montagnard supérieur			
	L <sub>51</sub>	111	92	111
P <sub>51</sub>	86	64	87	
H <sub>51</sub>	84	89	82	
H <sub>52</sub>	74	80	82	

\* Humidité actuelle (en % de l'humidité équivalente : H.E.)

une décade en septembre et la 1<sup>re</sup> décade d'octobre.

Il s'ensuit qu'à ces périodes-là, les conditions d'humidité exerceront vraisemblablement un effet limitant à l'égard de la minéralisation de l'azote dans les sols de l'étage collinéen.

#### Température

On considère que la minéralisation démarre lentement en dessous de 5°C, la nitrification étant plus affectée que l'ammonifi-

cation (Campbell *et al.*, 1971; Reddy, 1982). De 5°C à 35°C, la production d'azote minéral suit un Q 10 de 2 (Stanford et Smith, 1972).

Nous avons reporté dans le Tableau V les moyennes des températures maximales et minimales de l'air, mesurées aux étages extrêmes. La température du sol à 10 cm de profondeur étant plus stable que celle de l'air, nous prendrons ces valeurs en considération, sachant que la température minimale du sol en hiver approche celle des minimums de l'air en l'absence de couverture neigeuse et que la tempéra-



**Tableau V.** Moyenne mensuelle des températures maximales et minimales\* de l'air en degrés C, mesurées aux étages altitudinaux extrêmes (année 1980).

Stations météorologiques	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>CIREY</b>												
(Vallée de l'Ognon)	3,6 (-2,2)*	9,1 (1,6)	9,8 (2,8)	16,1 (2,7)	18,0 (6,5)	20,1 (10,3)	21,2 (11,4)	23,9 (12,6)	21,6 (9,9)	13,8 (4,9)	7,0 (-0,4)	3,1 (-3,1)
<b>MOUTHE</b>												
(Montagnard supérieur)	0,4 (-10,3)	6,5 (-3,5)	6,2 (-2,4)	7,2 (-1,8)	12,8 (1,7)	15,8 (5,4)	17,8 (6,6)	20,4 (7,9)	19,5 (4,7)	11,9 (0,4)	7,7 (-4,0)	-0,2 (-9,9)

\* Les températures minimales sont données entre parenthèses.

ture maximale du sol en été avoisine celle des maximums de l'air.

Les résultats montrent que la moyenne des températures minimales inférieures ou égales à 0°C dure 5 à 6 mois au montagnard supérieur et 2 mois dans la vallée de l'Ognon et les Avant-Monts. Ils rendent compte aussi de la période favorable à la minéralisation (minimums supérieurs à 5°C) qui s'étale sur 6 mois dans la vallée de l'Ognon et sur 3 à 4 mois seulement au montagnard supérieur.

## Discussion - Conclusion

Il ressort de cette étude que la teneur estivale en azote des horizons A<sub>1</sub> serait une caractéristique intéressante à prendre en considération. Elle oppose radicalement les sols forestiers de l'étage collinéen à ceux de l'étage montagnard : on observe, avec l'altitude, un excédent tout à fait inhabituel, des gains sur les pertes.

Compte tenu des conditions climatiques estivales, qui seraient à l'origine de pertes du même ordre de grandeur, ou supérieures, à l'étage montagnard qu'à l'étage collinéen, tout se passe comme si l'ammonification et la nitrification augmentaient,

au fur et à mesure que l'on s'élève dans le massif jurassien. La température ne jouant plus le rôle de facteur limitant en cette saison, le phénomène semble lié à l'augmentation des précipitations. Rappelons que pour l'année considérée, il est tombé de 960 mm dans la vallée de l'Ognon à 2 200 mm sur la Haute Chaîne.

## Références

- Bidault M., Rameau J. Cl., Schmitt A., Bruckert S. & Gaiffe M. (1980) *Catalogue des stations forestières de la vallée de l'Ognon*. Rapport scientifique et notice pratique. 64 pp., 27 fiches et annexes
- Blonde J.L., Gaiffe M. et Bruckert S. (1986) Relations entre le caractère humifère des sols des plateaux jurassiens et le régime hydrique induit par la perméabilité des bancs calcaires. *Pédologie*, XXXVI-2 p. 155-177
- Bruckert S. & Gaiffe M. (1980) Analyse des facteurs de formation et de distribution des sols en pays calcaire glaciaire ou karstique. *Ann. Sci. Univ. Besançon*, 4, Biol.vég., 1, 19-65
- Campbell C.A., Biederbeck V.O. & Warder F.G. (1971) Influence of stimulated fall and springs conditions on the soil system. II. Effect on soil nitrogen. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 35, 480-483
- Dommergues Y. & Mangenot P. (1970) *Ecologie microbienne du sol*. Masson, Paris. 796 pp.
- Faurie G. (1980) *Devenir de l'ammonium en sol calcaire : nitrification et volatilisation de*

- l'ammoniac*. Thèse de Doctorat d'Etat. Lyon I. 254 pp.
- Gaiffe M. & Bruckert S. (1985) Analyse des transports de matières et des processus pédogénétiques impliqués dans les chaînes de sol du karst jurassien. *Catena*, n° spécial «Soils and geomorphology», 6, 159-174
- Gaiffe M. & Schmitt A. (1980) Sols et végétation à l'étage montagnard dans les forêts du Jura central. *Science du sol*, 4, 265-296
- Mary B. & Remy J.C. (1979) Essai d'appréciation de la capacité de minéralisation de l'azote des sols de grande culture. Signification des cinétiques de minéralisation de la matière organique humifiée. *Ann. agron.*, 30, (6), 513-527
- Reddy K.R. (1982) Mineralization of nitrogen in organic soils. *Soils Sci. Soc. Amer. J.*, 46, 561-566
- Stanford D. & Epstein E. (1974) Nitrogen mineralization water relations in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38, 103-107
- Stanford G. & Smith S.J. (1972) Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36, 465-472
- Tavant Y. (1986) *Dynamique saisonnière des matières organiques et de l'azote des sols forestiers brunifiés et calcimagnésiques humifères des séquences bioclimatiques du Jura*. Thèse Doct. Univ. Franche-Comté, Besançon, 109 pp.