Les potentialités de production du blé d'hiver en moyenne montagne du Massif Central

Eugène Triboi, Louis Gachon, Jean Morizet

► To cite this version:

Eugène Triboi, Louis Gachon, Jean Morizet. Les potentialités de production du blé d'hiver en moyenne montagne du Massif Central. *Agronomie*, 1985, 5 (2), pp.135-142. hal-00884742

HAL Id: hal-00884742

<https://hal.science/hal-00884742>

Submitted on 1 Jan 1985

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les potentialités de production du blé d'hiver en moyenne montagne du Massif Central

Eugène TRIBOI, Louis GACHON & Jean MORIZET

I.N.R.A., Station d'Agronomie, F 63039 Clermont-Ferrand Cedex

RÉSUMÉ

Les potentialités de production du blé d'hiver (cv. « Clément ») sont étudiées à l'altitude de 900 m dans un dispositif lysimétrique où les facteurs de variation sont les suivants : le système de culture, l'épaisseur du sol, la fumure azotée (minérale ou organique) et l'irrigation.

Elles approchent 100 q de grain (à 15 p. 100 d'eau) à l'ha dès lors que sont assurés les besoins en eau et en azote. Pour la variété « Clément » ces derniers sont de l'ordre de 3,0 kg de N par quintal de grain à 15 p. 100 d'humidité. La forte pluviosité hivernale (400 à 600 mm) provoque un important lessivage d'octobre à avril et des risques élevés de pertes d'azote minéral. La meilleure valorisation de la fumure azotée par le blé d'hiver implique le fractionnement de cette fumure.

Mots clés additionnels : *Système de culture, épaisseur du sol, eau, lysimétrie, fertilisation azotée.*

SUMMARY

Yield potential of winter wheat at medium altitudes in the Massif Central (France).

The yield potential of winter wheat (cv. 'Clement') was studied in lysimetric conditions at an altitude of 900 m, where the factors of variation were cropping system, soil thickness, nitrogen fertilizer (mineral and organic), irrigation. When water and nitrogen were not limiting factors the yield potential was about 10 tonne/ha (85 p. 100 D.M.). For cv. 'Clement' the nitrogen need was 30 kg of N per tonne of grain. Leaching of mineral nitrogen was possible from October to April when the rainfall is high (400 to 600 mm). In these conditions, split applications give the best utilization of nitrogen fertilizer.

Additional key words : *Cropping system, soil thickness, water, lysimeter, nitrogen fertilizer.*

I. INTRODUCTION

Dans le Massif Central, on admet généralement que la moyenne montagne débute vers 600 m, soit approximativement en Auvergne avec la limite des sédiments tertiaires et de leurs terrains primaires encaissants, et que son altitude supérieure correspond à la possibilité du seigle de parvenir à maturité, c'est-à-dire vers 1 100 m au nord et 1 300 m au sud.

Le Massif Central possède actuellement les 2/3 des surfaces montagnardes françaises consacrées à la céréaliculture. Deux exploitations sur trois cultivent encore des céréales. Mais les surfaces diminuent progressivement en raison des faibles rendements moyens (20-30 q/ha) (LAFARGE, 1983a).

Cependant, des rendements élevés sont réalisables. Ainsi, les expérimentations et enquêtes en exploitation effectuées ces dernières années soit par LAFARGE (1983b), soit par l'Institut Technique des Céréales et

des Fourrages (ITCF) ou les firmes d'engrais, révèlent des rendements maxima dépassant parfois 60 q/ha, exceptionnellement 70 q. Selon LAFARGE, l'alimentation azotée et les mauvaises herbes sont les principaux facteurs de limitation des rendements et la céréaliculture a sa place en montagne en raison de la souplesse qu'elle confère à l'adaptation du système de culture aux conditions individuelles d'exploitation.

Le présent mémoire rapporte les résultats d'une culture de blé d'hiver en 1981-1982 sur le dispositif lysimétrique permanent de Theix, situé à l'altitude de 900 m sur le plateau cristallin des Monts Dômes, soit à 15 km au Sud-Ouest de Clermont-Ferrand.

Ce dispositif lourd a été mis en place en 1968 dans le but d'étudier :

- le bilan biogéochimique des principaux éléments de la biosphère ;
- les potentialités des cultures et des prairies en relation avec l'épaisseur du sol ;
- le bilan hydrique des diverses productions.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. Le dispositif expérimental

Dans son ensemble, le dispositif comprend 50 cuves étanches en polyester stratifié, laquées intérieurement et extérieurement, de section carrée égale à 3 m², de profondeurs différentes, à fond en dièdre légèrement incliné suivant une diagonale jusqu'à un orifice d'évacuation des eaux recueillies à l'aval par gravité.

Dans ces cuves ont été reconstitués divers profils de la manière suivante :

- au fond, un lit de 10 cm d'épaisseur moyenne de gravillons quartzeux destiné à faciliter l'écoulement des eaux infiltrées ;
- au-dessus, une épaisseur variable de « terre de sous-sol » prélevée sur place ;
- puis, 40 cm au maximum de « terre de surface » prélevée également sur la parcelle.

Dans la partie en prairie permanente, des plaques de gazon naturel prélevées à proximité immédiate ont assuré la couverture de surface (0-10 cm).

Enfin, le bord supérieur des cuves dépasse de 3 à 6 cm la surface du sol naturel pour éviter toute circulation hydrique superficielle entre l'intérieur et l'extérieur des cases.

Pour limiter les influences microclimatiques réciproques (effets d'oasis) consécutives aux croissances différentes induites par les traitements appliqués, chaque cuve est enterrée au centre d'un carré de 16 m², zone qui bénéficie des mêmes techniques culturales et qui constitue ainsi une zone de protection.

Les paramètres testés dans ce dispositif sont les suivants :

1. Le système de culture

- la prairie permanente (système P.P.) ;
- une succession culturale comprenant une prairie temporaire de 4 ans rompue par 2 années de cultures annuelles : système prairie assolée (P.A.) ;
- une rotation de 6 ans à dominante de cultures fourragères annuelles (système C.A.) incluant simultanément les cultures du système précédent.

2. L'épaisseur du sol

Au sein de chaque système cultural, on a fait varier l'épaisseur du sol selon une échelle adaptée à la puissance du système racinaire des cultures pratiquées,

soit :

- sous P.P. : 20, 40 et 80 cm,
- sous P.A. : 40, 80 et 120 cm,
- sous C.A. : 40, 80, 120 et 160 cm.

Les cultures pratiquées sur chacun de ces systèmes reçoivent une fumure azotée standard, minérale et organique (NL).

3. La fumure azotée met en jeu

- 2 formes : minérale (N) (exclusivement ammonitrate 33 p. 100),
organique (L) (engrais de ferme sous forme de lisier ou de fumier)

et • 2 niveaux : absence (T),
présence

agissant seuls ou en combinaison à l'intérieur de 4 traitements : T-L-N-LN.

Les fumures appliquées sont évidemment variables selon les cultures. En principe, elles ont pour ambition de satisfaire les besoins de productions intensives dans le contexte pédoclimatique local. Au cours des années, elles ont subi des ajustements successifs pour tenir compte des résultats observés.

Pour ne pas alourdir exagérément le dispositif, cette interaction N minéral × N organique est étudiée exclusivement sur le sol de 80 cm d'épaisseur commun aux 3 systèmes culturaux.

4. L'irrigation

Un traitement supplémentaire (80 LNI), mis en œuvre sur l'épaisseur de 80 cm, permet de mesurer les effets de l'irrigation appliquée de manière à satisfaire la demande climatique, déterminée à partir de la consommation en eau mesurée sur des évapotranspiromètres intégrés au dispositif, portant par conséquent les mêmes cultures.

Enfin, il convient de signaler que tous ces traitements bénéficient de fumures phosphopotassiques largement calculées et comprennent 2 répétitions.

B. Les conditions climatiques et pédologiques

1. Le climat

Les conditions climatiques moyennes issues des données recueillies sur le site de 1970 à 1982, ainsi que celles de septembre 1981 à août 1982 sont précisées dans le tableau 1.

TABLEAU 1
Conditions climatiques sur le site expérimental (1970-1982 et 1981-82).
Climatic conditions of experimental field (1970-1982 and 1981-82).

	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Pluie (mm)	moy.	80,3	88,6	56,4	65,7	59,7	50,8	56,1	45,9	94,2	74,7	62,3	80,4	815,1
	81-82	207,7	52,0	21,6	150,3	122,5	18,0	69,3	13,3	41,5	87,5	52,0	64,7	900,3
Température moyenne (°C) sous abri	moy.	11,9	7,8	4,0	1,7	0,9	1,6	2,7	5,0	9,3	12,6	14,7	14,8	7,2
	81-82	11,8	7,5	5,0	1,6	4,4	3,8	2,4	5,7	10,5	14,7	18,0	14,9	8,3

Le climat est donc relativement froid avec des températures moyennes de l'ordre de 15 °C seulement en juillet-août et très faiblement positives pendant les 3 mois d'hiver. Malgré l'altitude, il est modérément humide car le site, placé à l'Est des appareils volcaniques de la chaîne des Puys, bénéficie d'un phénomène d'abri vis-à-vis de l'onde pluviale se déplaçant d'Ouest en Est sous l'effet des vents dominants.

Par rapport à ces conditions moyennes, l'année culturale 1981-82 est marquée par :

— *une très forte irrégularité de la pluie* : largement excédentaire en septembre, décembre et janvier en alternance avec des épisodes anormalement secs en novembre, février, avril et mai. Ce régime pluvial engendre la saturation quasi permanente de la capacité au champ, du début septembre à la mi-avril (date d'arrêt définitif du lessivage) et des drainages globaux compris entre 515 et 569 mm selon l'épaisseur du sol ;

— *des températures relativement douces en hiver et au printemps*, toujours supérieures à la moyenne, de janvier à la récolte, à l'exception du mois de mars, conditions qui ont assuré le maintien des peuplements initiaux.

2. Le sol

Il s'agit d'un sol brun acide, modérément lessivé, représentatif du type pédologique le plus fréquent en moyenne montagne du centre de la France. Il est ici formé à partir de l'arène d'altération des granites porphyroïdes riches en plagioclases du socle cristallin des Monts-Dômes. Ses caractéristiques physico-chimiques déterminées lors de la mise en place du dispositif sont indiquées au tableau 2.

Sa texture associe une charge sableuse dominante à un complexe d'altération normalement développé, peu désaturé et à base de kaolinite. Ce sol présente sur

toute son épaisseur des teneurs satisfaisantes en matières organiques et en phosphore qui témoignent à la fois de son bon entretien chimique passé, lié à la proximité des bâtiments d'exploitation (restitutions d'engrais de ferme), et des phénomènes de colluvionnement ayant contribué à sa genèse malgré la pente modérée de la parcelle (6 p. 100, face au Nord).

C. L'expérimentation 1981-82 sur blé d'hiver

1. Conduite de la culture

La variété fourragère « Clément » a été semée le 15 octobre 1981 dans les 2 systèmes de culture (C.A. et P.A.), à la même densité de 400 grains/m². La levée s'est effectuée le 2 novembre dans de bonnes conditions, aboutissant à un peuplement homogène de 341 ± 11 et 342 ± 11 pieds au m², dans les systèmes C.A. et P.A. respectivement.

Dans ces 2 systèmes, l'orge de printemps constituait le même précédent cultural immédiat. Par contre, l'ante-précédent de 1980 était différent, soit en C.A., une vesce-avoine, soit en P.A., une prairie temporaire de 5 ans (fétuque élevée + trèfle blanc) retournée au printemps 1981 une dizaine de jours avant le semis de l'orge.

Les traitements avec l'azote ont reçu les fumures suivantes exprimées en kg de N/ha :

- 170 kg provenant du fumier le 2 octobre 1981 ;
- 230 kg N de l'ammonitrate fractionnés en 3 apports : 30 kg le 4 novembre 1981, 50 kg le 15 mars 1982 et 150 kg le 26 mai 1982, ce dernier au cours de la montaison.

Un désherbage chimique à l'Oxytril M a été effectué le 12 mai 1982 (début montaison) ainsi qu'un traitement antifongique à base de Bayleton le 9 juin (début épiaison). Enfin, le blé a été récolté le 18 août.

TABLEAU 2

Caractéristiques édaphiques (p. 1 000 de terre fine sèche).
Edaphic characteristics (per 1 000 parts of fine dry soil).

Système cultural	Prairie permanente P.P.		Prairie assolée et cultures annuelles P.A.			
Profondeur (cm)	10-40	40-80	0-40	40-80	80-120	120-160
<i>Analyse physique</i>						
Argile 0-2 µ	133	120	167	151	166	168
Limon 2-20 µ	130	142	162	194	191	178
Sables 20-50 µ	90	79	86	95	91	78
50-200 µ	126	109	128	138	131	115
200-2 000 µ	500	539	405	380	375	398
Mat. Org. totales	22,1	13,9	28,5	20,8	20,0	20,2
<i>Analyse chimique</i>						
C/N	9,3	9,8	10,0	10,4	10,0	9,7
pH eau	5,9	6,4	6,1	6,35	6,4	6,4
P ₂ O ₅ (DYER)	0,19	0,28	0,30	0,33	0,24	0,17
K ₂ O échangeable	0,27	0,24	0,39	0,41	0,42	0,39
C.E.C. (mev.)	124	108	158	159	160	186
Ca (mev.)	47,5	59,0	66,6	66,0	66,5	66,5
Mg (mev.)	14,1	16,6	16,4	19,3	19,0	18,1
K (mev.)	5,7	4,3	8,0	8,8	9,0	8,25
Na (mev.)	0,7	0,7	0,9	1,2	0,9	0,9
Taux de saturation	0,68	0,81	0,87	0,95	0,96	0,94

TABLEAU 3
Rendements en matière sèche et exportations d'azote.
Dry matter yield and nitrogen outputs.

Epaisseur sol (cm)	Traitement	Système cultural	Rendement (q/ha)			N (% M.S.)		N dans la récolte (kg/ha)		
			grain	paille	total	grain	paille	grain	paille	total
40	LN	CA	34,0	46,9	80,9	2,69	0,49	91,5	23,0	115
		PA	39,0	51,0	90,0	2,68	0,48	104,5	24,5	129
80	T	CA	15,9	20,5	36,4	1,76	0,38	28,0	7,8	36
		PA	26,9	34,7	61,6	1,70	0,31	45,7	10,8	57
	L	CA	25,9	34,4	60,3	1,52	0,25	39,4	8,6	48
		PA	38,8	50,0	88,8	1,64	0,28	63,6	14,0	78
	N	CA	47,7	58,1	105,8	2,29	0,40	109,2	23,2	132
		PA	51,1	67,6	118,7	2,44	0,48	124,7	32,4	157
	LN	CA	51,2	68,3	119,5	2,43	0,50	124,4	34,2	159
		PA	54,6	76,7	131,3	2,55	0,45	139,2	34,5	174
	LNI	CA	77,1	94,8	171,9	2,18	0,50	168,1	47,4	216
		PA	79,8	108,2	188,0	2,30	0,53	183,5	57,3	241
120	LN	CA	69,2	107,0	176,2	2,50	0,49	173,0	52,4	225
		PA	72,4	107,5	179,9	2,64	0,52	191,1	55,9	247
160	LN	CA	79,8	104,8	184,6	2,31	0,53	184,3	55,5	240

2. Contrôles effectués

Les bilans hydriques et azotés ont été calculés à partir des mesures suivantes :

— volume et concentration des eaux de *pluie* et de *lessivage* (recueils hebdomadaires et analyses mensuelles sur échantillon moyen à partir de fractions aliquotes) ;

— *consommation d'eau* des cultures :

- soit directement sur les évapotranspiromètres,
- soit indirectement en prenant en compte la pluie (P), le lessivage (L), l'irrigation éventuelle (I) et la variation du stock hydrique (ΔS) du sol suivie par voie neutronique ; d'où on obtient :

$$ETR = P + I + \Delta S - L,$$

— biomasse et composition des *récoltes*.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Effets des traitements sur la production et l'absorption d'azote

Sur l'ensemble du dispositif, la production et l'azote retrouvé dans les parties aériennes ont varié considérablement (tabl. 3). Les rendements exprimés en matière sèche sont passés de 15,9 à 79,8 q/ha pour le grain et de 36,4 à 188,0 q/ha pour la biomasse aérienne totale. Dans celle-ci, l'azote a fluctué entre 36 et 247 kg/ha.

Il est intéressant de comparer l'effet de la fumure minérale azotée à celui de la fumure organique au sein du sous-ensemble constitué par les sols de 80 cm d'épaisseur (tabl. 4).

Les 230 kg d'azote de la fumure minérale ont engendré un gain de 28,6 q de grain dans le système C.A. et de 20,0 q dans le système P.A. correspondant à l'absorption supplémentaire d'azote de 103,5 et 98 kg respectivement retrouvés dans l'ensemble de la récolte.

TABLEAU 4

Effets comparés de N minéral et de N organique selon le système de culture sur la production de grain et l'azote retrouvé dans la récolte.

Compared effects of mineral and organic nitrogen on grain yield and nitrogen recovery, according to cropping system.

		Rendement du grain (M.S. en q/ha)		N dans la récolte (kg/ha)	
		C.A.	P.A.	C.A.	P.A.
Traitements	T et L	20,9	32,9	42,0	67,5
	N et LN	49,5	52,9	145,5	165,5
Effet de N minéral		28,6	20,0	103,5	98
Traitements	T et N	31,8	39,0	84,0	107,0
	L et LN	38,55	46,7	103,5	126,0
Effet de N organique		6,8	7,7	19,5	19,0

Les 170 kg d'azote de la fumure organique ont exercé des effets beaucoup plus faibles, de l'ordre de 7 à 8 q de grain, pour près de 20 kg supplémentaires de N absorbé. Pour le grain, on observe une nette interaction puisque le grain de rendement chute de 10-12 q sans N minéral à 3,5 q seulement en présence de N minéral. Ces observations confirment à la fois le moindre coefficient d'utilisation de l'azote organique et l'interaction classique entre les 2 formes. Parmi les causes de cette moindre efficacité, il faut souligner que l'apport de fumier effectué quelques jours avant le semis a provoqué des pertes supplémentaires d'environ 7,5 kg d'azote nitrique, peu variables selon les traitements, sous l'effet du lessivage hivernal.

En reprenant les résultats du tableau 3, on constate que l'épaisseur du sol a engendré les écarts les plus spectaculaires puisque le rendement du grain croît linéairement de 34,0 à 79,8 q avec une pente moyenne de 0,39 ou 0,42 q par cm supplémentaire de sol selon

Figure 1

Relations entre le rendement du grain et l'épaisseur du sol selon le système de culture.

P.A. : prairie assolée ; C.A. : cultures fourragères annuelles.

Relationships between grain yield and soil thickness according to cropping system.

le système de culture (fig. 1). On a :

en C.A. : MS grain (q/ha) = 0,39 Epaisseur (cm) + 19,7 avec $n = 4$ et $r = 0,99$;

en P.A. : MS grain (q/ha) = 0,42 Epaisseur (cm) + 21,9 avec $n = 3$ et $r = 1,00$.

L'influence de cette condition est à attribuer à la capacité globale de rétention en eau puisque l'irrigation accroît fortement à la fois la biomasse et le prélèvement d'azote.

On voit ainsi que les 2 facteurs, alimentation azotée et alimentation hydrique, ont induit une variation très importante des rendements de grain et de paille et de l'absorption d'azote.

A l'opposé, le système de culture a engendré un effet beaucoup plus limité au bénéfice de la prairie assolée (P.A.). Tous traitements confondus, cet effet se traduit par des écarts approximatifs de 6 q de grain et de 22 kg d'azote prélevé, conséquence d'une plus forte fourniture d'azote minéral et, secondairement, d'une amélioration de la capacité de rétention pour l'eau, attestée par une tendance générale à la réduction du lessivage hydrique. On est surpris de constater une aussi faible arrière-action de la prairie temporaire retournée au cours du printemps 1981, notamment si on compare ces résultats à ceux de JACQUARD & CROISIER (1970) obtenus, il est vrai, sous des conditions climatiques très différentes.

B. Relation entre rendement et alimentation hydrique

L'irrigation de 193 mm appliquée sur le seul traitement 80 LN a augmenté le rendement du grain de 25 q (moyenne des 2 systèmes de culture). Il en ressort une efficacité de 0,130 par mm d'eau qui apparaît faible au premier abord.

A partir de la cessation du drainage en avril (peuplement en fin de tallage) et jusqu'à la récolte, les variations du profil hydrique ont été suivies hebdomadairement sur 9 parcelles permettant d'établir le bilan hydrique et l'évapotranspiration réelle (ETR) au cours

de cette phase terminale du cycle du blé. De l'analyse de ces bilans d'eau, il ressort que l'irrigation a augmenté l'ETR de 143 mm qui conduit à un coefficient apparent d'utilisation de l'eau de 74 p. 100. La différence d'eau non consommée s'explique par la variation du stock au sein du sol au cours de la période des contrôles et par quelques écarts dans les lessivages résiduels.

D'une manière générale, on constate qu'il existe une étroite relation linéaire entre le rendement du grain et l'ETR (fig. 2). On a : M.S. grain (q/ha) = 0,19 ETR (mm) - 14,2 avec $n = 9$ et $r = 0,98$.

L'importance relative du terme libre tient au fait que cette relation statistique ne considère que l'eau consommée postérieurement au 5 avril, début des contrôles. Il en résulte que l'efficacité de l'eau apparaît d'autant meilleure que le rendement est plus élevé, en variant de 0,14 à 0,17.

La biomasse totale est liée à l'ETR de manière tout à fait similaire :

M.S. totale aérienne = 0,46 ETR - 33,6 avec

$n = 9$ et $r = 0,96$.

Conjointement, l'irrigation a accru l'exportation d'azote de 57 à 67 kg qu'il convient d'attribuer :

— soit à une plus intense minéralisation de N organique du sol, qu'elle qu'en soit son origine (humus, corps microbiens, résidus culturaux, engrais de ferme...) ;

— soit à une meilleure utilisation de l'offre du sol en azote minéral (N posthivernal et N de la fumure) en considérant comme négligeable N minéral apporté par l'eau d'irrigation, de l'ordre de 5 kg ;

— soit à la combinaison de ces divers processus.

Figure 2

Relations entre le rendement du grain et l'eau consommée.

Relationships between grain yield and water consumed.

C. Relation entre rendement et alimentation azotée : Evaluation des besoins azotés du blé d'hiver

Sur l'ensemble du dispositif, la quantité d'azote présente dans les parties aériennes est très étroitement liée au rendement du grain selon la régression linéaire

suivante :

$N \text{ (kg/ha)} = 3,41 \text{ M.S. grain (q/ha)} - 23,2$
avec

$$r = 0,97 \text{ et } n = 15.$$

On en déduit que chaque quintal supplémentaire de grain accroît de 3,41 kg l'exportation d'azote par les parties aériennes. Cependant, l'importance du terme libre dans la régression précédente engage à approfondir cette première conclusion globale.

L'analyse de la variation de la teneur du grain en azote en fonction du rendement classe les traitements du dispositif en 2 ensembles distincts selon qu'ils ont reçu (+ N) ou non (- N) la fumure minérale de 230 kg/ha (fig. 3). Dans le premier ensemble, la teneur varie de 2,2 à 2,7 p. 100 alors qu'elle reste comprise entre 1,5 et 1,8 dans le deuxième.

Dès lors, établie séparément sur chacun de ces ensembles, la régression linéaire précédente entre l'azote retrouvé dans les parties aériennes et le rendement du grain voit diminuer simultanément la pente et le terme libre. On obtient ainsi (fig. 4) :

— en absence de N minéral (- N)

$N \text{ exporté (kg/ha)} = 1,86 \text{ M.S. grain (q/ha)} + 4,83$
avec $n = 4$ et $r = 0,98$;

— en présence de N minéral (+ N)

$N \text{ exporté} = 2,91 \text{ M.S. grain (q/ha)} + 11,55$
avec $n = 11$ et $r = 0,97$.

L'examen approfondi de la teneur en azote du grain révèle la présence d'une variation secondaire au sein de l'ensemble (+ N) due à l'alimentation hydrique (fig. 3). Les concentrations les plus élevées, proches de 2,7 p. 100 de la M.S. sont observées sur les sols les plus touchés par la sécheresse (épaisseur de 40 cm) qui, intervenant surtout après l'anthèse, pénalise l'accumulation des hydrates de carbone. A l'inverse, en absence de sécheresse (80 irrigué et 160 cm), les teneurs sont les plus basses, comprises entre 2,2 et 2,3 p. 100.

Figure 3

Relations entre la teneur en azote et le rendement du grain.
Relationships between nitrogen content and grain yield.

Figure 4

Relations entre l'azote exporté et le rendement du grain.
Relationships between nitrogen uptake and grain yield.

En raison du trop petit nombre de traitements faisant varier les facteurs azote et eau, il n'est guère possible d'aller plus loin dans l'analyse de leur interaction. On peut néanmoins conclure qu'une teneur en azote du grain de l'ordre de 2,2 à 2,3 p. 100 paraît nécessaire pour exprimer le potentiel génétique d'une variété fourragère de blé telle que « Clément ».

De plus, dans tous les traitements de l'ensemble (+ N), on constate (cf. tabl. 2) que la teneur des pailles est restée stable autour de 0,5 p. 100 correspondant à une exportation moyenne de 0,6 à 0,7 kg de N/q grain produit.

L'exportation d'azote par les parties aériennes du blé ressort donc à 2,8-3,0 kg/q de grain sec, soit une moyenne de 2,45 kg/q grain à 15 p. 100 d'humidité.

Enfin, pour évaluer les besoins totaux, il convient d'ajouter l'azote présent dans le système souterrain estimé selon COIC (1956) à 0,6 kg/q de grain récolté. On obtient ainsi la demande globale de 3,05 kg/q grain à 15 p. 100 d'eau, qui confirme la valeur généralement admise à la suite des travaux de cet auteur.

Ce résultat confirme aussi la signification physiologique d'une telle référence acquise puis vérifiée jusqu'à cette date exclusivement dans les conditions climatiques de plaine.

IV. CONCLUSION

Sous réserve d'études complémentaires visant à préciser les modalités de l'élaboration du rendement en altitude, les potentialités de production du blé d'hiver — des céréales en général — apparaissent très élevées sur les plateaux du Massif Central français, proches de 100 q/ha grain (à 15 p. 100 d'eau).

Bien entendu, ces valeurs potentielles établies sur de très petites surfaces expérimentales, soigneusement entretenues, ne sont pas transposables dans la pratique agricole sans une réflexion notable.

Le premier enseignement fourni par cette étude est l'ampleur du déficit hydrique observé en 1982, année caractérisée, il est vrai, par une fin de printemps

moins pluvieuse que la normale (soit 259 mm contre 357,5 mm d'avril à août inclus). Il est important de souligner que ce déficit a été mesuré sur un sol relativement profond (80 cm) et doté d'une capacité de rétention représentative des conditions moyennes sur les plateaux du socle primaire. Une pluviosité printanière et estivale « normale » associée à un sol un peu plus profond, de l'ordre de 100 cm, fourniraient les conditions nécessaires pour couvrir les besoins hydriques et exprimer ainsi les potentialités du blé d'hiver dans les zones d'altitude du centre de la France. Mais le blé est susceptible d'exploiter des réserves situées plus profondément encore.

D'autre part, l'azote exerce dans ces régions un rôle d'autant plus déterminant que le régime des pluies est partout favorable au lessivage de l'azote minéral du sol provenant soit des engrais soit de la minéralisation des l'humus ou des résidus culturaux. Ces conditions

soulèvent notamment le problème de la valorisation optimale de l'azote apporté sous forme d'engrais de ferme et de l'azote libéré après le retournement des prairies temporaires.

Enfin, la réalisation des potentialités des cultivars modernes paraît nécessiter la fourniture minérale de 3,5 kg d'azote/q grain sec (soit 3,0 kg de N/q à 15 p. 100 d'humidité), conduisant ainsi à une demande globale de l'ordre de 300 kg de N à l'hectare. Elle exige aussi une efficace protection contre les parasites et les mauvaises herbes, ces dernières ayant une propension à proliférer avec le retour des engrais de ferme sur les terres labourées des exploitations orientées vers des systèmes mixtes d'agriculture-élevage.

Reçu le 5 mars 1984.

Accepté le 26 septembre 1984.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Coic Y., 1956. La nutrition et la fertilisation azotées du blé d'hiver. I. Les besoins en azote du blé d'hiver. Conséquences agronomiques. *Ann. Agron.*, **1**, 115-131.

Lafarge M., 1983a. Existence et diversité de la céréaliculture de montagne dans le Massif Central. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, **69**, 500-510.

Lafarge M., 1983b. Approche des facteurs et conditions du rendement des céréales en altitude. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, **69**, 917-927.

Jacquard P., Croisier L., 1970. Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables. III. Bilan de six années d'essais sur l'étude globale des effets résiduels et de leur durée. *Ann. Agron.*, **21**, 247-268.