

Accumulation et répartition de la matière sèche et de l'azote chez *Phaseolus vulgaris* L. : applications à la sélection au Cameroun

1 - Joseph Martin BELL* et 2 - Jean - Baptiste NOUBISSIE TCHIAGAM

1. Unité de Génétique et Amélioration des Plantes, Département de Biologie et Physiologie Végétales
Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I - BP 12 558 Yaoundé – Cameroun
Fax (237) 23 97 94, Email : jbell@uycdc.uninet.cm

2. Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences, Université de Ngaoundéré, BP 454 Ngaoundéré - Cameroun

RÉSUMÉ

Au cours des travaux réalisés à Yaoundé, chez 13 lignées pures de haricot commun et 3 hybrides F_1 , l'accumulation et la répartition de la matière sèche et de l'azote Kjeldahl des organes aériens ont été étudiées au cours de cinq principales phases de développement. Ce matériel a été évalué en champ dans un dispositif en blocs complets randomisés. L'objectif de l'étude était de suivre la construction des indices de récolte et de répartition de l'azote dans l'optique d'utiliser ces deux paramètres comme critères de sélection des idéotypes qui associeraient une productivité et une teneur en protéines des graines élevées. Les résultats montrent un parallélisme pour les cinétiques d'accumulation de la matière sèche et de l'azote. Les maxima pour ces deux caractères sont respectivement atteints au cours du remplissage des gousses et à la floraison. Les indices de récolte avec des valeurs comprises entre 30,82 et 41,04% suivant les génotypes, dépendent surtout des potentialités des sources à travers la remobilisation des assimilats au profit des graines mais aussi de l'assimilation post-floraison qui exprime les capacités des puits. L'indice d'efficacité d'utilisation de l'azote qui est lié surtout aux ré-allocations de l'azote stocké dans les organes végétatifs avant la floraison, est corrélé positivement à l'indice de récolte ($r^2 = 0,74$) et varie de 40,05 à 50,10 en fonction des génotypes. Les valeurs d'hétérosis (HF) par rapport au parent moyen ne montrent pas de vigueur hybride et suggèrent que ces deux critères sont contrôlés par des gènes à effets additifs. Les progrès génétiques sont attendus par sélection récurrente des géniteurs possédant des valeurs propres élevées pour ces paramètres.

Mots clés : *Phaseolus vulgaris* L., indice de récolte, indice de répartition de l'azote, sélection.

ABSTRACT

In the course of research work conducted in Yaoundé, a study was carried out on dry matter, nitrogen accumulation and partitioning of shoot organs were studied in 13 common bean varieties and 3 F_1 hybrids during five main developmental stages. In the field, this material was evaluated in a randomised complete block design. The main objective was to assess the elaboration of harvest index (HI) and nitrogen harvest index (NHI) with the aim of using these parameters during breeding to select genotypes with high rates of productivity and grain protein contents. Results obtained showed that both the dry matter and nitrogen accumulation kinetics were similar. The maximum of these parameters are respectively observed during pods filling and flowering. The harvest index ranged from 30.82 to 41.04% depending on genotypes and depended mainly on the dry matter accumulated in vegetative organs before flowering and also to post-anthesis assimilation. The nitrogen harvest index, which depended on the reallocation of storage nitrogen in vegetative organs, was positively correlated to harvest index ($r^2 = 0,74$) and its value ranged from 40.05 to 50.10 depending on genotypes. The value of heterosis over mid-parent for the two traits showed no significant hybrid vigour. This suggested these criteria were controlled by genes with additive effects. Genetic gain could be made by recurrent selection of genitors with high rate for these parameters.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., harvest index, nitrogen harvest index, selection.

Auteur Pour Correspondance

BELL Joseph Martin - B.P. 12 558 Yaoundé I

Tél. : (237) 23 28 00/70 21 09 - Email : jbell@uycdc.uninet.cm

Avec une production annuelle supérieure à 30.000 tonnes (PNUD, 1993), le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est l'une des principales légumineuses à graines cultivées au Cameroun, particulièrement dans les hautes terres de l'Ouest (Pasquet & Fotso, 1998). Conduite en association avec le maïs ou les tubercules, il contribue non seulement à valoriser les sols pauvres grâce à la fixation rhizobienne de l'azote mais d'autre part, les graines constituent un bon supplément pour l'alimentation des populations grâce à leur teneur en protéines brutes variant entre 21 et 27% (Pasquet et al., 1987). Les variétés cultivées sont photo-indépendantes et s'adaptent mieux aux fortes pentes fraîches au contraire des légumineuses photosensibles (*Vigna unguiculata*, *Phaseolus lunatus*) qui ne fleurissent pas en premier cycle ou se comportent mal dans les zones de basses températures (Pasquet & Fotso, 1998). Cependant seuls 34,8% des besoins sont couverts et la productivité moyenne qui se situe autour de 420 kg à l'hectare demeure relativement faible (PNUD, 1993). Comme dans la plupart des pays tropicaux, les attaques phytopathogènes et la rareté des programmes de création variétale sont les principales causes de la stabilité des rendements médiocres (Singh, 1992).

L'importance de cette culture a suscité la mise sur pied par l'Institut de la Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) d'un programme de recherche sur l'augmentation du rendement. Il est focalisé sur la collecte et l'évaluation des potentialités des variétés introduites surtout à partir du CIAT (Centre International de l'Agronomie Tropicale, Cali, Colombie) ainsi que l'amélioration des techniques culturales. Nous avons initié depuis 1990 un programme complémentaire dont les objectifs à moyen terme sont la création de génotypes associant une production en graines et une teneur en protéines relativement élevées et stables. En effet, *P. vulgaris* présente une grande variabilité pour ces deux traits qui, dans beaucoup d'accessions et d'autres plantes

cultivées, sont négativement corrélés (Julier et al., 1993 ; Lewicki & Chery, 1992 ; Thomas & Hungria, 1988). Les progrès génétiques pour améliorer ces traits passent par la recherche de méthodes et critères de sélection efficaces à appliquer (Kervella et al., 1991 ; Zimmermann et al., 1989).

La présente étude se propose de suivre les indices de récolte (HI, harvest index) et de répartition de l'azote (NHI, nitrogen harvest index) au cours de différentes phases du développement de la plante. Ces critères physiologiques sont utilisés dans la sélection de plusieurs espèces cultivées comme le blé (Oury et al., 1993 ; Desai & Bathia, 1978), le lupin blanc (Julier et al., 1993 ; Duthion et al., 1987), le maïs (Feil et al., 1990), l'orge (Le Gouis, 1993 ; Lewicki & Chery, 1992), le soja (Dayde & Ecohard, 1987 ; Bruzzel & Buttery, 1977), le tournesol (Arnoux, 1979)... L'indice de récolte mesuré par le rapport de la matière sèche des graines (MSG) sur la matière sèche totale aérienne (MSA) à la maturité, est chez le haricot une composante essentielle de la production en graines (Beaudoin et al., 1995). Il est fortement héritable (Zimmermann et al., 1989). Par ailleurs, chez cette légumineuse, l'indice de répartition de l'azote varie selon les génotypes et, est fortement corrélé à la teneur des graines en protéines (Thomas & Hungria, 1988).

Chez cette espèce, des travaux préliminaires ont été réalisés sur le suivi de la répartition de la matière sèche aérienne d'une part (Noubissie-Tchiagam, 1989) et sur la répartition de la teneur en azote des organes aériens d'autre part (Nyam, 1993). Par ailleurs, une variabilité importante pour la teneur des graines en protéines a été mise en évidence (Nghah-Essama, 1990 ; Pasquet et al., 1987). Dans la présente étude, l'analyse de l'accumulation et de la répartition de la matière sèche aérienne et de l'azote au cours d'un cycle de culture est réalisée dans l'optique de la mise au point d'une stratégie de sélection des

Tableau I. Caractéristiques des lignées pures testées de *Phaseolus vulgaris*

Dénominations	Caractéristiques des variétés			
	Origine	Couleur graine	Poids 100 graines (g)	Mode de croissance
A216 (TA80)	CIAT	Noire	22,80	Indéterminé
A385 (TA67)	CIAT	Beige	21,25	Indéterminé
AFR 290 (PH 410)	CIAT	Violet marbré	42,66	Déterminé
AND 360 (PH 434)	CIAT	Rouge marbré	43,86	Déterminé
BAT 95 (PH 330)*	CIAT	Beige	15,62	Indéterminé
GB (PV 14)	Local	Blanche	38,12	Indéterminé
GLP 290*	CIAT	Rouge marbré	41,80	Déterminé
GR (PV 163)	Local	Rouge vineux	40,08	Déterminé
PB (PV 12)	Local	Blanche	16,22	Indéterminé
PN (PV 460)	Local	Noire	17,89	Indéterminé
Pornillo (PV 237)*	CIAT	Rouge	33,58	Indéterminé
PR (PV 123)	Local	Rouge	19,27	Indéterminé
S102	INRA	Noire	28,12	Semi-déterminé

Les variétés dites locales sont celles qui sont anciennement introduites. * Variétés introduites après 1981, mais actuellement en cours de vulgarisation.

génotypes qui accumulent le maximum de carbone et d'azote dans les graines.

Matériel et Méthodes

Les expérimentations ont été conduites en champ à Yaoundé aux sites du Campus universitaire et de la banlieue Nkolbisson. Selon Suchel (1988) le climat de Yaoundé est équatorial de type continental à quatre saisons avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1.560mm et une température moyenne qui oscille autour de 24°C. Le sol est ferrallitique moyennement désaturé et acide avec un pH de 5,2.

Le matériel végétal (tableau I) est constitué de 13 lignées pures reçues de l'IRAD de Dschang et 3 hybrides F₁ (S102 x PN, PN x GR, S102 x GR). Les hybridations ont été réalisées par croisements manuels après castration ou au moyen de la stérilité mâle dominante Ms8 (Bell, 1986) dont le gène est porté par le cultivar S102 fourni par l'INRA (Institut National de recherche Agronomique) de Versailles.

Le dispositif expérimental est constitué de blocs complètement randomisés avec deux répétitions. La parcelle élémentaire est constituée de trois billons de 5m x 0,6m espacés de 0,8m. Les semis sont réalisés à une faible densité, soit 90.000 pieds à l'hectare et les plantes qui sont tuteurisées en cas de nécessité, ne sont pas fertilisées. Les cultures n'ont pas souffert de déficit hydrique, ni d'attaques parasitaires sévères.

Les prélèvements ont été effectués à cinq stades de développement :

- en début de floraison (I), dès l'apparition des premières fleurs ;
- en fin de floraison (II), lorsque environ 90% des fleurs parviennent à l'anthèse ;
- au stade de grossissement des graines (III) ;
- en début de maturité (IV), dès l'apparition des premières gousses mures ;
- en fin de maturité (V), lorsque environ 90% des fruits sont mûrs.

Pour chaque prélèvement, 10 plantes sont coupées au niveau du collet et séparées en divers organes : feuilles (limbes et pétioles), tiges, organes reproducteurs sans graines (fleurs, gousses, grappes) et graines. Les différents échantillons sont lavés, passés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures, refroidis au dessiccateur pendant 30mn et pesés à l'aide d'une balance électronique.

La méthodologie appliquée pour le calcul des indices de récolte (Oury et al., 1993) consiste à mesurer la matière sèche aérienne (MSA) qui est décomposée en matière sèche des feuilles (MSF), des tiges (MST), des organes reproducteurs (MSO) et des graines (MSG). L'indice de récolte est estimé par le rapport entre matière sèche des graines et matière sèche aérienne à la fin de la maturité (stade V). La quantité de matière sèche provenant de

l'assimilation post-floraison (MSPF) est évaluée par la différence entre les matières sèches aériennes à la fin de la floraison (stade II) et à la fin de la maturité (stade V). Elle est exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche aérienne à la fin de la maturité (stade V). Sa formule est :

$$MSPF (\%) = \frac{MS_{Amaturité} - MS_{Afloraison}}{MS_{Amaturité}} \times 100$$

La quantité de matière sèche de l'appareil végétatif remobilisée pour le remplissage des graines (MSRG) est obtenue par la différence entre la matière sèche végétative à la fin de la floraison et la matière sèche végétative à la fin de la maturité. Elle est exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche des graines à maturité, soit :

$$MSRG (\%) = \frac{MS_{vététativefloraison} - MS_{vététativematurité}}{MSG_{maturité}} \times 100$$

Le dosage de l'azote a été effectué au Centre de Recherches en Alimentation et Nutrition de l'IMPMP par la méthode de Kjeldahl (Brunnel, 1978). Pour simplifier les analyses, les prélèvements des dix échantillons sont écrasés ensemble et la poudre obtenue est dosée trois fois. Les teneurs en protéines sont évaluées en multipliant par 6,25 les taux d'azote obtenus et, les différents indices sont calculés suivant les méthodes déjà décrites (Lewicki & Chery, 1992). Ce sont :

- l'indice de répartition de l'azote ou *nitrogen harvest index* (NHI), qui est la fraction d'azote des organes végétatifs transloquée finalement vers les graines. C'est le rapport entre la quantité d'azote des graines (NG) et la quantité totale d'azote des parties aériennes (NT) à maturité

$$(NHI = \frac{NG}{NT})$$

- la fraction de l'azote total accumulé après la floraison qui est le rapport entre la quantité d'azote assimilée pendant la maturation (NA) et la quantité totale d'azote des parties aériennes

$$(NT) \frac{NA}{NT} - (NA = NT - NF, NF \text{ étant la quantité d'azote des parties aériennes à la fin de la floraison}) ;$$

- la proportion d'azote transloquée vers les graines à partir de celle accumulée après la floraison qui est calculée par le rapport entre la quantité d'azote des graines (NG) et la quantité d'azote assimilée pendant la matura-

$$\text{tion } (NA) \frac{NG}{NA}$$

Tableau II. Quantités moyennes de matière sèche (en g) des organes aériens de lignées pures de *Phaseolus vulgaris* à croissance déterminée et indéterminée au cours du cycle

Paramètres	Stades de développement et mode de croissance									
	I		II		III		IV		V	
	DET	IND	DET	IND	DET	IND	DET	IND	DET	IND
MSF	7,67	9,37	9,46	15,47	14,80	27,53	11,26	22,44	6,79	14,94
MST	2,58	2,94	3,44	4,84	8,66	14,36	9,43	16,44	8,61	15,41
MSR	-	-	0,68	1,01	8,98	14,84	9,60	15,70	8,19	11,70
MSG	-	-	-	-	1,40	2,73	8,52	17,04	12,84	26,31
MSA	10,25	12,31	13,58	21,32	33,84	59,46	38,82	71,63	36,43	68,40
d	2,06ns		7,73**		25,62**		42,81**		31,97**	

DET: croissance déterminée (moyenne de six variétés); IND : croissance indéterminée (moyenne de quatre variétés) ; MSF : matière sèche foliaire ; MST : matière sèche des tiges ; MSR : matière sèche des organes reproducteurs ; MSG : matière sèche des graines ; MSA : matière sèche aérienne ; d : différence entre les deux versions pour la MSA ; ns : non significative au seuil de 5% ; ** significative au seuil de 1%

Les résultats sont analysés par les méthodes d'analyse de variance et par estimation des droites de régression au moyen du logiciel Systat. Les deux sites ont été traités globalement.

L'hétérosis en F_1 (HF_1) est calculée par rapport au parent moyen (Gallais, 1990), soit :

$HF_1 = F_1 - \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$ où F_1 est la moyenne des hybrides F_1 , P_1 et P_2 les moyennes des deux parents.

Résultats et discussion

1 - Production et évolution des quantités de matière sèche aérienne au cours du cycle

Le tableau II et la figure 1 présentent la production et l'évolution des quantités de matière sèche aérienne de cinq lignées à croissance déterminée et de trois lignées à croissance indéterminée au cours des cinq phases de développement. Il n'est pas tenu compte de la matière

sèche des feuilles et autres organes tombés au cours de la végétation.

On distingue quatre phases.

- Au cours de la phase végétative et de la floraison, la vitesse de production de la matière sèche est faible (0,4 à 0,5g par jour respectivement pour les variétés déterminées et indéterminées).
- Au stade de remplissage des gousses, les vitesses moyennes d'accumulation de la matière sèche sont de 0,9 g et 1,8 g par jour, respectivement pour les variétés déterminées et indéterminées.
- Pendant le stade de grossissement des graines, les vitesses d'accumulation de la matière sèche varient entre 0,5 à 0,8g par jour, respectivement pour les variétés déterminées et indéterminées.
- Au cours de la maturation, on enregistre

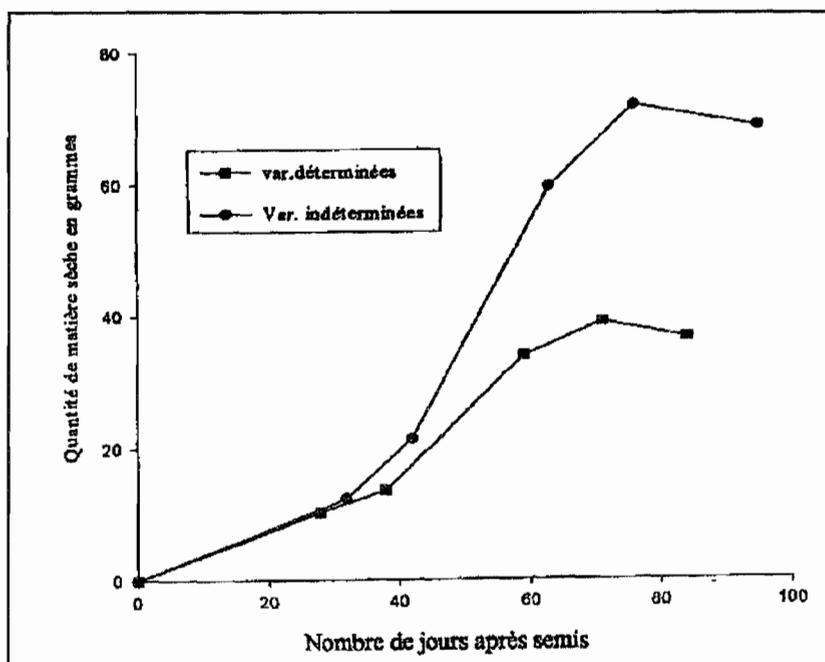


Figure 1 : Cinétique d'accumulation de la matière sèche des variétés déterminées et indéterminées de *Phaseolus vulgaris* au cours des cinq stades de développement.

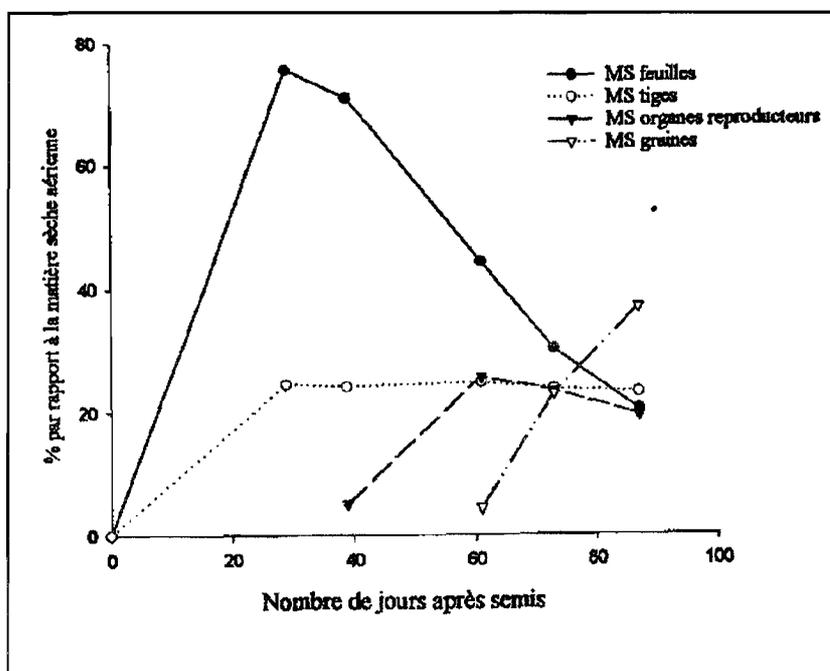


Figure 2 : Cinétique de répartition de la matière sèche dans divers organes aériens chez *Phaseolus vulgaris* au cours des cinq stades de développement.

une baisse de la biomasse de l'ordre 0,2 g par jour en moyenne toutes lignées confondues.

La répartition de la matière sèche selon les organes au cours du cycle est présentée à la figure 2.

En début de floraison, les feuilles qui atteindront leur poids brut maximal pendant la phase de grossissement, représente alors 75% de la matière sèche aérienne. A la maturité, ce pourcentage se situe autour de 20%.

La matière sèche des tiges est plus constante au cours du cycle et se situe autour de 25% de la matière sèche totale. Mais à la maturité, on observe suivant les génotypes, une baisse plus ou moins légère.

Par contre, les organes reproducteurs et les graines en particuliers sont caractérisés par une accumulation rapide de la biomasse. Le pourcentage des graines varie de 4% à 35% de la matière sèche aérienne du stade III au stade V.

On observe que pendant la phase végétative, les variétés déterminées forment 1/4 de leur biomasse alors que celles à croissance indéterminée ont moins de 1/5 de leur matière sèche totale. L'essentiel de la matière sèche est donc produit après la floraison, contrairement à beaucoup de plantes annuelles (Duthion et al., 1987).

Au cours de la phase remplissage des gousses la croissance pondérale est accélérée et les plantes acquièrent environ 3/5 de leur biomasse.

L'augmentation de la croissance pondérale se produit au cours du stade grossissement des graines mais à une vitesse plus ralentie. C'est à cette période que les plantes atteignent leur croissance maximale.

La comparaison des poids relatifs des différents organes suggèrent que les limbes et accessoirement les tiges, constituent des sites de stockage transitoire de matière sèche qui serviront ensuite à l'alimentation des gousses sous forme de saccharose (Wardlaw, 1990).

La translocation des assimilats est un phénomène morphogénétique et physiologique complexe résultant des

Tableau III. Evolution des teneurs moyennes en azote Kjeldahl (%) des organes aériens au cours des différents stades de développement chez *Phaseolus vulgaris*

Stades	Teneurs en azote Kjeldahl			
	Limbes	Tiges et pétioles	Organes reproducteurs	Graines
Début floraison (I)	5,22a	2,28a	-	-
Fin floraison (II)	5,09ab	1,86b	4,90a	-
Grossissement graines (III)	4,95ab	1,76b	4,66a	3,31a
Début maturité (IV)	4,33b	1,66b	3,92ab	3,26a
Fin maturité (V)	3,43c	1,15c	3,08b	3,37a
Moyenne	4,06	1,74	4,14	3,43
PPDS (5%)	0,85	0,31	0,98	0,46

Pour un organe donné, les teneurs suivies d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5%.

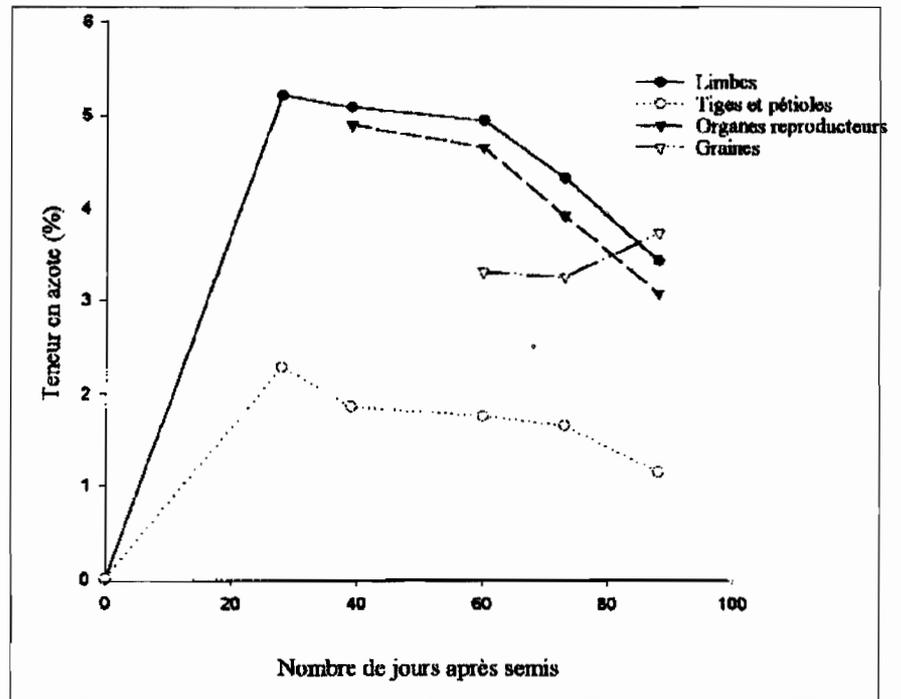


Figure 3 : Evolution des teneurs moyennes en azote des divers organes aériens chez *Phaseolus vulgaris* au cours des cinq stades de développement.

interactions entre les sources (ici les limbes), le phloème et les puits (ici les graines).

2 - Accumulation et répartition de l'azote

Le Tableau III et la Figure 3 montrent les teneurs en azote des organes aériens au cours des principaux stades de développement.

La teneur en azote dans les limbes varie de 5,22% au stade début floraison (teneur est maximale) à 3,43% au stade fin maturité. Dans les tiges et les pétioles, la teneur va de 2,28% au stade début floraison (teneur maximale) à 1,15% au stade fin maturité. Dans les organes reproducteurs, les teneurs vont de 4,90% au stade fin d'azote, servent surtout comme des organes de transit, mais présentent aussi des translocations vers les organes reproducteurs en fin de cycle. L'azote des graines provient

donc surtout des redistributions et de l'assimilation directe pendant la maturation. Les variétés qui possèdent une teneur élevée dans les graines (PB, GB, S102) sont celles qui ont un taux élevé pour cet élément dans les limbes en début de floraison. La valeur de la corrélation ($r^2 = 0,88$; $p = 0,001$) suggère que la teneur des limbes en azote à la fin de la phase végétative peut être utilisée comme critère efficace de sélection précoce des génotypes à haute teneur en protéines.

3 - Evaluation de l'indice de récolte

Les aspects agronomiques de la translocation consistent à favoriser l'accumulation de la MS dans les graines. Ceci dépend en priorité des capacités de réallocation des assimilats stockés dans les parties végétatives vers les

Tableau IV. Indice de récolte (IR) et répartition de la biomasse chez les neuf variétés étudiées de *Phaseolus vulgaris*

Génotypes	Caractéristiques des variétés			
	IR (%)	MSG (g)	MSR (g)	MSPF (%)
A216	39,50b	32,15a	33,28e	66,66ab
A385	37,10c	18,89c	63,90b	63,78b
AFR 290 Mortino	32,13e	17,53c	57,33c	70,73a
AND 360	30,82f	9,12d	26,31e	50,42c
GLP 290	41,04a	10,27d	75,75a	39,48d
GR	33,62d	10,06d	51,68cd	48,72c
PN	38,12c	28,78a	47,46d	65,25ab
Porrillo 693	39,37b	24,59b	78,08a	62,90b
S102	38,68bc	17,24c	65,54b	93,80b
Moyenne	36,70	18,73	55,34	59,08
PPDS (5%)	1,23	4,02	8,00	6,22

IR : Indice de récolte ; MSG : Matière Sèche des Graines ; MSR : Matière Sèche des Organes Reproducteurs ; MSPF : Matière Sèche issue de l'assimilation Post-Floraison. Pour un paramètre donné, les valeurs des variétés suivies d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5%.

Tableau V. Différentes caractéristiques de l'assimilation de l'azote chez six variétés de *Phaseolus vulgaris*

Variétés	Paramètres mesurés				
	NG (%)	NHI (%)	NA (%)	NA/NT	NG/NA
GB	3,96a	49,59a	4,21bc	0,53ab	0,94ab
GR	3,18c	40,05d	4,25bc	0,54ab	0,75b
PB	4,03a	50,10a	3,81c	0,47b	1,06a
PN	3,80ab	45,47bc	3,99c	0,58ab	0,95ab
PR	3,54bc	42,65cd	4,64ab	0,56ab	0,76b
S102	3,90ab	47,75ab	4,87a	0,60a	0,80b
Moyenne	3,73	45,93	4,29	0,53	0,87
PPDS	0,38	3,96	0,54	0,12	0,23

NG : teneur en azote des graines à maturité. NHI : indice de répartition de l'azote. NA : fraction d'azote absorbée après la floraison. NT : teneur en azote des parties aériennes à maturité. NA/NT : fraction d'azote accumulée après la floraison. NA/NG : proportion d'azote transloquée vers les graines à partir de l'azote accumulé après la floraison. Pour un paramètre donné, les valeurs des variétés suivies par la même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5%.

graines et aussi de l'assimilation des carbohydrates synthétisés après la floraison. Bien que les transferts d'assimilats dépendent des facteurs environnementaux (Desai & Bathia, 1978 ; Bruzzell & Buttery, 1977), la variabilité génotypique est appréciable (Tableau IV). En effet, les valeurs de l'IR se situent entre 30,82 et 41,04% ; ce qui implique que les rapports sources-puits diffèrent suivant les variétés. Ces taux sont comparables à ceux obtenus au cours des travaux antérieurs (Noubissié-Tchiagam, 1989 ; Zimmermann *et al.*, 1989) mais restent faibles par rapport aux valeurs enregistrées chez le blé (Desai & Bathia, 1978), le lupin blanc (Duthion *et al.*, 1987), l'orge (Le Gouis, 1993) et le soja (Dayde & Ecochard, 1987 ; Bruzzell & Buttery, 1977).

Les relations sources-puits qui expliquent les valeurs de l'indices de récolte varient suivant les variétés. Globalement, chez les cultivars où IR est relativement élevé comme GLP 290, Porrillo 693 et S102, les redistributions des produits vers les graines sont fortes et la production de la MSA faible ou moyenne. Elles montrent une nette diminution de la MS des feuilles et tiges à la maturité. Chez ces variétés, la translocation des assimilats stockés dans les tiges contribuent significativement au rendement biologique. Ce constat a été réalisé aussi chez l'orge d'hiver à six rangs (Le Gouis, 1993). Les puits sont puissants et utilisent les nutriments issus de la source photosynthétique ou des réserves stockées. GLP 290 produit une faible biomasse, mais les remobilisations ultérieures vers les graines sont importantes. Son rendement peut être augmenté par maximisation de l'efficacité productive permettant un plus grand stockage de MS avant le remplissage des graines. L'indice de récolte est aussi élevé chez A216 qui produit beaucoup de matière sèche aérienne mais possède une assimilation post-floraison prépondérante. Pour ce génotype, l'efficacité photosynthétique est élevée, donc la productivité dépend moins de la source mais plutôt de la taille des puits. Pour les génotypes où les appels sont faibles, il existe un surplus d'assimilats qui restent stockés

dans les parties végétatives ou orientés vers les racines.

4 - Evaluation de l'indice de répartition de l'azote

L'efficacité d'utilisation de l'azote et les composantes du remplissage des graines en azote ont été mesurées pour six lignées pures (Tableau V) pour permettre de comprendre l'importance des remobilisations et de l'assimilation de cet élément. Il existe une variabilité phénotypique appréciable pour la teneur estimée des graines en protéines avec un taux compris entre 18,7 et 25,19%. Ces tendances sont comparables à celles notées par Pasquet *et al.* (1987) ou Ngah-Essama (1990) et confirment que les variétés à graines blanches (PB, GB) sont plus riches en protéines.

Le test de Fisher appliqué aux génotypes analysés, attestent qu'ils présentent des différences significatives pour l'indice de répartition de l'azote, paramètre qui exprime surtout la fraction d'azote provenant des remobilisations (Desai et Bathia, 1978) et dans une moindre mesure l'assimilation d'azote minéral pendant la maturation des graines (Lewicki & Chery, 1992). Les valeurs de l'indice de répartition de l'azote obtenues montrent qu'environ 40,05 à 50,10% de l'azote total sont transloqués vers les graines ; Ce qui est largement inférieur aux taux obtenus chez certaines espèces comme le blé (Lewicki & Chery, 1992), le lupin (Julier *et al.*, 1993), le maïs (Feil *et al.*, 1990). Les génotypes qui ont des valeurs élevées (GB, PB, S102, PN) associent également une teneur en azote relativement élevée pour les parties végétatives en début de floraison et pour les graines à maturité. Selon Lewicki & Chery (1992), les processus physiologiques intervenant dans la détermination de l'indice de répartition de l'azote sont liés au contrôle génétique et sont plus influencés par le génotype que par la quantité d'azote disponible dans le sol.

La corrélation entre l'indice de répartition de l'azote et la fraction d'azote assimilée après la floraison ($r^2 = 0,06$) et l'équation de la régression linéaire obtenue ($y = -2,55x +$

57,92) montrent l'influence négligeable de l'assimilation post-floraison sur l'indice de répartition de l'azote. Le même constat est fait entre l'indice de répartition de l'azote et, $\frac{NA}{NT}$, la fraction de l'azote accumulé après la floraison ($r^2 = 0,07$; $y = -21,42x + 57,30$). Les génotypes pour lesquels l'indice de répartition de l'azote est élevé montrent une proportion relativement importante d'azote transloquée vers les graines à partir de l'azote assimilé après la floraison ($\frac{NG}{NA}$). Toutefois, ce paramètre ($\frac{NG}{NA}$) ne détermine pas véritablement la valeur de l'indice de répartition, car les valeurs de la corrélation entre ces deux variables ($r^2 = 0,32$) et de la droite de régression correspondante ($y = 19,84x + 27,88$) montrent que l'azote assimilé après la floraison n'est qu'une composante mineure de l'azote contenu dans les graines.

Ces analyses confirment que chez *P. vulgaris*, la quantité d'azote accumulé dans les parties végétatives est déterminante pour l'efficacité des transferts de substances azotées vers les graines. La proportion d'azote incorporé pendant le remplissage des graines et de la redistribution de l'azote accumulé dans l'appareil végétatif et les enveloppes des gousses dépendent des espèces et des variétés. Ainsi, chez le lupin, 47% de l'azote des graines proviendraient de l'incorporation pendant le remplissage des graines et 53% de la redistribution de l'azote accumulé avant cette phase (Duthion *et al.*, 1987).

5 - Comparaison des parents et leurs hybrides

Le Tableau VI montre la comparaison des trois hybrides F_1 et leurs géniteurs pour l'indice de récolte et l'indice de répartition de l'azote. Pour l'indice de récolte, l'hybride S102 x PN présente une valeur de 38,18%, l'hybride PN x GR une valeur de 37,18% et l'hybride S102 x GR une valeur de 34,96%. Les parents lignées pures S102, PN et GR présentent les valeurs respectives de 38,68%, 38,12% et 33,62%. Quant à l'indice de répartition de l'azote, l'hybride S102 x PN présente une valeur de 46,96%,

l'hybride PN x GR une valeur de 24,84% et l'hybride S102 x GR une valeur de 44,36%. Les parents lignées pures S102, PN et GR présentent les valeurs respectives de 47,75%, 45,47% et 40,05%.

La moyenne de l'indice de récolte des trois parents lignées pures est de 36,80% alors que la moyenne de leurs hybrides F_1 est de 36,77%. La moyenne de l'indice de répartition de l'azote des trois parents lignées pures est de 44,42% et celle de leur hybrides est de 44,72%.

Globalement, lorsque deux parents présentent des différences notables pour ces deux variables, leur hybride a une valeur intermédiaire. L'analyse de variance précise qu'aucun hybride n'est supérieur au meilleur parent, donc il n'y a pas de vigueur hybride. Les calculs des hétérosis par rapport au parent moyen donnent des valeurs comprises entre -0,22 et 1,31 pour l'indice de récolte ; et 0,08 à 0,46 pour l'indice de répartition de l'azote. Les valeurs de la F_1 ne diffèrent donc pas significativement de celles du parent moyen. Comme chez le blé (Oury *et al.*, 1993), les hybrides ont une assimilation post-floraison plus importante que celle des parents et produisent également une plus grande biomasse.

Ces résultats suggèrent que ces deux paramètres soient surtout sous la dépendance de gènes à effets additifs (Gallais, 1990). Ces constats impliquent que la recherche de lignées possédant des indices de récolte et de répartition d'azote élevés, passe par une sélection généalogique de lignées pures ayant de fortes valeurs propres ou la création d'idéotypes à travers des schémas de sélection récurrente (Kervella *et al.*, 1992 ; Gallais, 1990 ;). Cette dernière voie, où seraient combinés à chaque cycle les meilleurs descendants, semble plus prometteuse.

Conclusion

Bien qu'obtenus dans des conditions expérimentales non optimales, les résultats de cette étude fournissent une bonne approximation sur les processus d'accumulation et de translocation de la matière sèche aérienne et de l'azote vers les graines chez *Phaseolus vulgaris*. L'optimisation de la

Tableau VI. Comparaison des parents et leurs hybrides F_1 pour les indices de récolte et de répartition d'azote chez *Phaseolus vulgaris*

Génotypes	Caractéristiques des variétés			
	IR (%)	NHI (%)	HF ₁ pour IR	HF ₁ pour NHI
GR	33,62d	40,05f	-	-
PN	38,12a	45,47c	-	-
S102	38,68a	47,75a	-	-
Moyenne Parents	36,80	44,42	-	-
S102 x PN	38,18a	46,96b	-0,22b	0,35a
PN x GR	37,18b	42,84e	1,31a	0,08b
S102 x GR	34,96c	44,36d	-1,19b	0,46a
Moyenne F₁	36,77	44,72	-0,1	0,30

IR : Indice de récolte. NHI : Indice de répartition de l'azote. HF₁ : hétérosis en F_1 . Les parents et les hybrides sont comparés pour les mêmes paramètres. Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5%.

production de la biomasse utile et le rehaussement de la teneur en protéines des graines passent donc par la sélection des génotypes qui accumulent de manière significative une biomasse importante et une quantité d'azote élevée dans les organes de stockage transitoire que sont les limbes, les pétioles et accessoirement les tiges. Par ailleurs, la droite générale de régression de l'indice de répartition de l'azote en fonction de l'indice de récolte est $y = 1,14x + 2,55$ et la valeur de leur coefficient de corrélation est $r^2 = 0,74$ ($p = 0,01$). Ceci montre que l'efficacité de remobilisation de l'azote et celle du transfert de la matière sèche aérienne vers les graines sont positivement liées. L'absence des effets d'hétérosis pour ces deux variables indique que la sélection pour les génotypes très performants doit passer par la sélection généalogique ou mieux encore par des schémas de sélection récurrente. Toutefois, des études additionnelles devront être envisagées sur un large germoplasme à travers des essais multiloceaux pour quantifier les effets génotypes x environnement et la valeur en croisement pour ces paramètres.

Références bibliographiques

- ARNOUX M. (1979). Variétés, sélection et recherche. *Cultivar, Spécial oléagineux* : 69-72.
- BEAUDOIN J.P., CAMERANA F. & LOBO M. (1995). Amélioration de quatre espèces de légumineuses alimentaires tropicales : *Phaseolus vulgaris*, *P. coccineus*, *P. polyanthus* et *P. lunatus* : sélection intra et interspécifique. In : J. Dubois & Y. Demady (eds). *Quel avenir pour l'amélioration des plantes ?* AUPELF-UREF, Eurotext. Paris pp 31-49.
- BELL J.M. (1986). *Etude génétique, cytologique et physiologique de différentes stérilités mâle géniques et cytoplasmiques chez Phaseolus vulgaris L.* Thèse de doctorat, Université de Paris XI Orsay, 175p.
- BRUNNEL A. (1978). *Traité de chimie végétale*. Tome 2. Editions Georges Frère, Turcoing, 515p.
- BRUZZELL R.I. & BUTTERY B.R. (1977). Soybean harvest index in hill-plots. *Crop Sci.* 17 : 968-970.
- CALMES J. & VIALA G. (1987). Métabolisme foliaire et protéogénèse des graines chez le soja. In : Ed. INRA *Nutrition azotée des légumineuses*, Paris. pp. 143-152.
- DAYLE J. & ECOCHARD R. (1987). Elaboration de la matière sèche chez le soja : comparaison des types déterminé et indéterminé. *Agron.* 5 (2) : 127-134.
- DESAI R.M. & BATHIA C.R. (1978). Nitrogen uptake and nitrogen harvest index in durum wheat cultivars varying in their grain protein concentration. *Euphytica* 27 : 561-566.
- DUTHION, C.; AMARGER, N. & MARIOTTI, A. (1987). Accumulation potentielle de la matière sèche et de l'azote chez le lupin blanc de printemps (*Lupinus albus* L.). *Agron.* 7 (8) : 585-593.
- FEUIL B., THIARAPON R., GEISLER G. & STAMP P. (1990). Genotype variation in grain nutrient concentration in tropical maize grown during a rainy and a dry season. *Agron.* 10 (9) : 717-725.
- GALLAIS A. (1990). *Théorie de la sélection en amélioration des plantes*. Masson, Paris. 588p.
- JULIER B., HUGHE C. & PAPINEAU J. (1993). Dry matter, nitrogen accumulation and seed yield determinate autumn sown white lupinus (*Lupinus albus* L.). *Agron.* 13 : 877-888.
- KERVELLA J., GOLDRINGER I. & BRABANT P. (1991). Sélection récurrente chez les plantes autogames pour l'amélioration des lignées pures : une revue bibliographique. *Agron.* 11 : 335-352.
- LE GOUIS J. (1993). Grain filling and shoot growth of 2 row 6 row winter barley varieties. *Agron.* 13 : 545-552.
- LEWICKI S. & CHERY J. (1992). Etude de l'accumulation et de la remobilisation de l'azote chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) : comparaison de variétés possédant ou non le gène de semi-nanisme (*sdw*). *Agron.* 12 : 235-245.
- NGAH-ESSAMA M.V. (1990). *Contribution à l'étude de quelques variétés de Phaseolus vulgaris L. introduites au Cameroun : suivi de la matière sèche*. Mémoire de Maîtrise, Université de Yaoundé. 56p.
- NOUBISSIÉ-TCHIAGAM J.B. (1989). *Contribution à l'étude de quelques variétés de haricot commun (Phaseolus vulgaris L.) : évolution de la teneur en azote des organes aériens*. Mémoire de Maîtrise, Université de Yaoundé. 56p.
- NYAM C. (1993). *Répartition de l'azote dans les organes aériens du haricot commun (Phaseolus vulgaris L.) : comparaison entre les parents et leurs hybrides*. Mémoire de DIPES II, Université de Yaoundé I. 64p.
- OURY F.X., BRABANT P., PLUCHARD P., BERARD, P. & ROUSSET M. (1993). Une étude sur la supériorité des blés hybrides au niveau de la capacité de remplissage du grain : résultats d'une expérimentation multiclonale. *Agron.* 13 : 381-393.
- PASQUET R.S. & FOTSO M. (1998). Le niébé face aux haricots américains au Cameroun. In : M. Chastenet Ed. *Plantes et paysages d'Afrique, une histoire à explorer*. Khartala CRA. Paris pp 231-249.
- PASQUET R.S., FOTSO M., NOUBI L. & TRECHE S. (1998). Comparaison de la valeur nutritionnelle de quelques légumineuses locales à celles des légumineuses introduites ou en voie d'introduction au Cameroun. I. Teneur en nutriments. *Science and Technology Review* IV (3,4) : 41-53.
- PNUD (PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DÉVELOPPEMENT). (1993). *Rapport sur le développement humain au Cameroun*. PNUD. Yaoundé. 123p.
- SINGH S.P. (1992). Common bean improvement in the Tropics. *Plant breeding Review* 10 : 199-217.
- SUCHEL JB. (1988). *Les climats du Cameroun*. Bordeaux III, Thèse d'état Université, 1188 p.
- THOMAS R.J. & HUNGRIA H. (1988). Effects of potassium on nitrogen fixation, nitrogen transport and nitrogen harvest index of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Plant Nutrition* 11 : 175-188.
- WARDLAW I.F. (1990). The control of carbon partitioning. *New Phytol.* 116 : 341-381.
- ZIMMERMANN M.J.O., ROSIELLE A.A., WAINES J.G. & FORSTER K.W. (1989). A heritability and correlation study of grain yield, yield components and harvest of common bean in sole crop and intercrop. *Field Crops Res.* 9 : 109-118.

Received: 16/9/2000

Accepted: 6/12/2001