

Double

15960699

RÉPUBLIQUE du SÉNÉGAL

MINISTÈRE de l'AGRICULTURE

INSTITUT SÉNÉGALAIS de
RECHERCHES AGRICOLES

F022

FAL

0699

MÉMOIRE

présenté par Cheikh-Alassane FALL

OPTIMISATION DES SCHÉMAS DE SÉLECTION
POUR L'ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE A LA SÉCHERESSE
DE L'ARACHIDE (*A. hypogaea* L.)

pour la Confirmation au Poste
de Chargé de Recherche en
Génétique & Sélection.

Août 1994

DIRECTION de RECHERCHES sur les CULTURES et SYSTÈMES PLUVIAUX
CENTRE NATIONAL de RECHERCHES AGRONOMIQUES

Bambey

*Ce mémoire est dédié
à ma tante Dina P. MENDY,
pour son aide, sa sympathie et
son amour du prochain.*

Remerciements

- A Mme Madeleine FALL et Pape Elie BADIANE pour leur appui constant en tous lieux et en toutes circonstances.
- A Mme Doussouba SOW et Yamar M'BODJ pour leur soutien et leur amabilité.
- A Doudou DIOUF, Mohamed A. TRAORÉ et Baba NDIAYE pour leur soutien actif.
- Au service de la documentation de l'ADRAO à Bouaké, pour avoir satisfait gracieusement à toutes mes demandes documentaires.
- A Mr Amadou DIOUF de la documentation du CNRA de Bambeï qui, sans cesse, m'apporta l'élément d'information demandé.
- A mes cousins et à mes amis: Robert et Jacques HOPPÉ, Babacar DIAGNE, Famara MASSALY, Mamadou BALDÉ, Mbaye NDIAYE, Moussa BADJI, Alioune GASSAMA, Ibrahima DIÈYE, Mamadou L. SONKO, Ibrahima DIAITÉ, Saliou DJIBA, Jean-Pierre N'DIAYE, Abdou NDIAYE, Paul T. SENGHOR, Boubacar BARRY, Maguette NDIAYE, Mohamed S. COULIBALY qui, quelque soit l'adversité n'ont jamais ménagé leur effort ni leur temps à me soutenir, m'encourager, m'appuyer, et surtout me conseiller.
- A mes amis français: Nicolas ROUYRRE, Laurent ESSIOUX, Nd. Babacar FAYE et Madji, Agnès DOLIGEZ pour leur sympathie et leur talent de mathématicien.
- A mes lecteurs, pour avoir occupé autrement leur temps; et à Mr. Madiagne DIAGNE pour les données pluviométriques.
- A mes copains du CNRA: Mbaye Ndoïe SALL pour sa curiosité scientifique, Abdou GUÈYE, Pape DIOUF, Mamadou DRAMÉ, Matar HANN, Ibra HANNE, Amadou DIOP, A. FAYE, I. NDONG, etc...; Mme Rosalie DIOUF-DE MONSÉRA pour son amabilité, Isidore le méchant -pour m'avoir laissé dactylographier seul ce long mémoire.
- A Jean-Baptiste DENIS, pour les discussions et les articles sur l'interaction du milieu. Ses conseils sont un enseignement.
- A mes professeurs de l'AGRO/Paris: R. TOMASSONE pour ses conseils et sa disponibilité; Aboubakry SARR et l'éminent André GALLAIS pour m'avoir remis l'arme absolue.

SOMMAIRE

<u>Introduction</u>	1
I. <u>Cadre de l'Étude.</u>	4
1. <u>Situation générale.</u>	4
2. <u>Analyse des régimes pluviométriques.</u>	4
3. <u>Situation agricole et place de l'Arachide.</u>	8
II. <u>Analyse du programme de Sélection pour l'Adaptation à la Sécheresse.</u>	15
1. <u>Synthèse des acquis de 1983 à 1991.</u>	15
1.1 Les objectifs de l'étude,	15
1.2 Les méthodes d'analyse utilisées et résultats,	15
2. <u>Critiques.</u>	25
2.1 De l'étude génétique,	25
2.2 Des méthodes de sélection,	32
3. <u>Perspectives d'amélioration des schémas.</u>	36
III. <u>Brève revue des Méthodes de Sélection multicaractère.</u>	39
IV. <u>Optimisation par application de la Théorie des Index de sélection.</u>	41
1. <u>L'Identification pluridisciplinaire des critères agronomiques et physiologiques.</u>	41
1.1 Identification des idéotypes de sélection et recherche de variables opérationnelles,	43
1.2 Identification de la structure canonique des groupes de critères,	44
1.3 Identification des groupes de performances,	44
2. <u>Modèles mathématiques.</u>	46
2.1 Avec prise en compte de l'interaction du milieu,	46
2.2 Sans l'interaction du milieu,	47
3. <u>Les Estimateurs des composantes de la covariance.</u>	48
3.1 Environnementale,	48
3.2 Génétique et résiduelle,	48

4. <u>Modélisation de la valeur génétique additive des descendants.</u>	49
4.1 La covariance Parent-Offspring,	49
4.2 Modélisation de la valeur génétique additive par la méthode BLUP,	50
4.3 Prédiction de la réponse à la sélection et Efficacité relative,	51
5. <u>Stratégies de construction des Index de sélection.</u>	51
5.1 L'index de sélection monogénération,	51
5.2 L'index de sélection multigénération,	54
6. <u>L'Apport de variabilité nouvelle.</u>	56
V. <u>Application pratique de l'Index de sélection.</u>	57
1. <u>Matériel et Méthodes.</u>	58
2. <u>Résultats et Discussion.</u>	58
<u>Conclusion Générale</u>	63
<u>Références Bibliographiques</u>	66
<u>Annexes</u>	82

Récapitulatif des Graphes et des Annexes.

- Graphe 1. Évolution de la pluviométrie à Louga de 1960 à 1993, et Courbe de tendance par moyenne mobile depuis 1950 pour une périodicité de 5 ans.
- Graphe 2. Évolution de la pluviométrie à Thiès de 1960 à 1993, et Courbe de tendance par moyenne mobile depuis 1950 pour une périodicité de 5 ans.
- Graphe 3. Évolution de la pluviométrie à Diourbel de 1960 à 1993, et Courbe de tendance par moyenne mobile depuis 1950 pour une périodicité de 5 ans.
- Graphe 4. Extension de la Sécheresse au Sénégal en 1972 (haut), et en 1983 (bas).
- Graphe 5. (haut) Superficies emblavées des principales cultures en pourcent de la moyenne Nationale, période 1986 - 1991.
(bas) Production des principales cultures en pourcent de la moyenne Nationale, période 1986 - 1991.
- Graphe 6. Évolution de la superficie emblavée et de la production d'Arachide d'Huileries à Louga de 1960 à 1991, et Courbes de tendance respectives par moyenne mobile avec une périodicité de 5 ans.
- Graphe 7. Évolution de la superficie emblavée et de la production d'Arachide d'Huileries à Thiès de 1960 à 1991, et Courbes de tendance respectives par moyenne mobile avec une périodicité de 5 ans.
- Graphe 8. Évolution de la superficie emblavée et de la production d'Arachide d'Huileries à Diourbel de 1960 à 1991, et Courbes de tendance respectives par moyenne mobile avec une périodicité de 5 ans.
- Graphe 9. Évolution de la moyenne pluviométrique par période de 5 ans, et Contribution de la zone Centre-Nord du bassin arachidier à la production Nationale d'Arachide d'Huileries.
- Graphe 10. Schéma de sélection par Back-cross pour l'amélioration de la Précocité de maturité des variétés d'Arachide 73-30 et 55-437 (Khalfaoui, 1988).
- Graphe 11. Schéma de sélection Récurrente pour l'Adaptation physiologique à la sécheresse de l'Arachide à partir de 8 lignées parentales. *Sans tenir compte de l'interaction génotype x milieu* (Khalfaoui, 1988).
- Annexe 1. (haut) Variabilité dans la pluviométrie mensuelle à Bambey (Diourbel) de la saison humide 1991, montrant sur une base de 100 mm les deux mois les plus pluvieux.
(bas) Variation de la pluviométrie décadaire à Bambey (Diourbel) de la saison humide 1991, montrant les périodes d'absence de précipitation (s)

durant ladite saison.

Annexe 2. Caractéristiques des lignées parentales utilisées dans les études génétiques et dans les schémas de sélection.

Annexe 3. Paramétrisation des modèles de Hayman (1958), Gamble (1962) et Jinks and Jones (1958) d'analyse des effets géniques.

Annexe 4. Estimation de la variance d'échantillonnage d'un coefficient de corrélation génétique selon Scheinberg (1966) .

Annexe 5. Structure de la matrice de variance-covariance génétiques inter-génération des caractères agronomiques et physiologiques des individus hiérarchisés dans la famille.

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION

Bien que l'amélioration variétale de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) débutât à Bambey en 1924, la différenciation des longueurs de cycle et l'adaptation à la sécheresse comme objectif de recherche, n'est apparue qu'en 1960, suite à la diminution de la durée de la saison humide et de la pluviosité au Nord du Sénégal.

Face à la dégradation persistante des conditions climatiques dans le Bassin Arachidier, les objectifs de production du Vème Plan Quadriennal de Développement (1978-1981) n'avaient pu être atteints. Les variétés vulgarisées telles la 55-437 pour le nord du bassin avec un cycle de développement de 90 jours, la 73-30 hâtive dormante de 95 jours pour le centre-nord et la 73-33 dormante à cycle moyen de 105 jours pour le centre du bassin, ne répondaient plus aux objectifs agronomiques assignés. Leur simple glissement plus au sud, pour faire correspondre le nouveau cycle pluviométrique au cycle de développement de ces variétés, ne constituait pas une alternative valable. La 55-437, non dormante et sensible à la Cercosporiose, fut descendue jusqu'au Sine-Saloum et y occupait en 1981, environ 50% des surfaces emblavées en arachide (Guégan, 1983).

Dans le souci de contribuer au maintien d'une production acceptable et stabilisée, l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles décide de la création, en 1983, d'une nouvelle Opération de recherche en Sélection. Avec comme discipline d'appui, la physiologie, partant du fait que la tolérance à la sécheresse est acquise par l'intermédiaire de facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques (Turner, 1979; Ahmadi, 1983; Renard, 1983).

Le résultat attendu est la création de variétés nouvelles à rendement acceptable face à une contrainte hydrique donnée. Mais la complexité des caractères morphologiques et physiologiques d'adaptation en relation avec les critères agronomiques, leur niveau d'intégration et leur répartition dans des

génotypes différents, ne militent pas en faveur de l'adoption d'un schéma simple d'amélioration génétique.

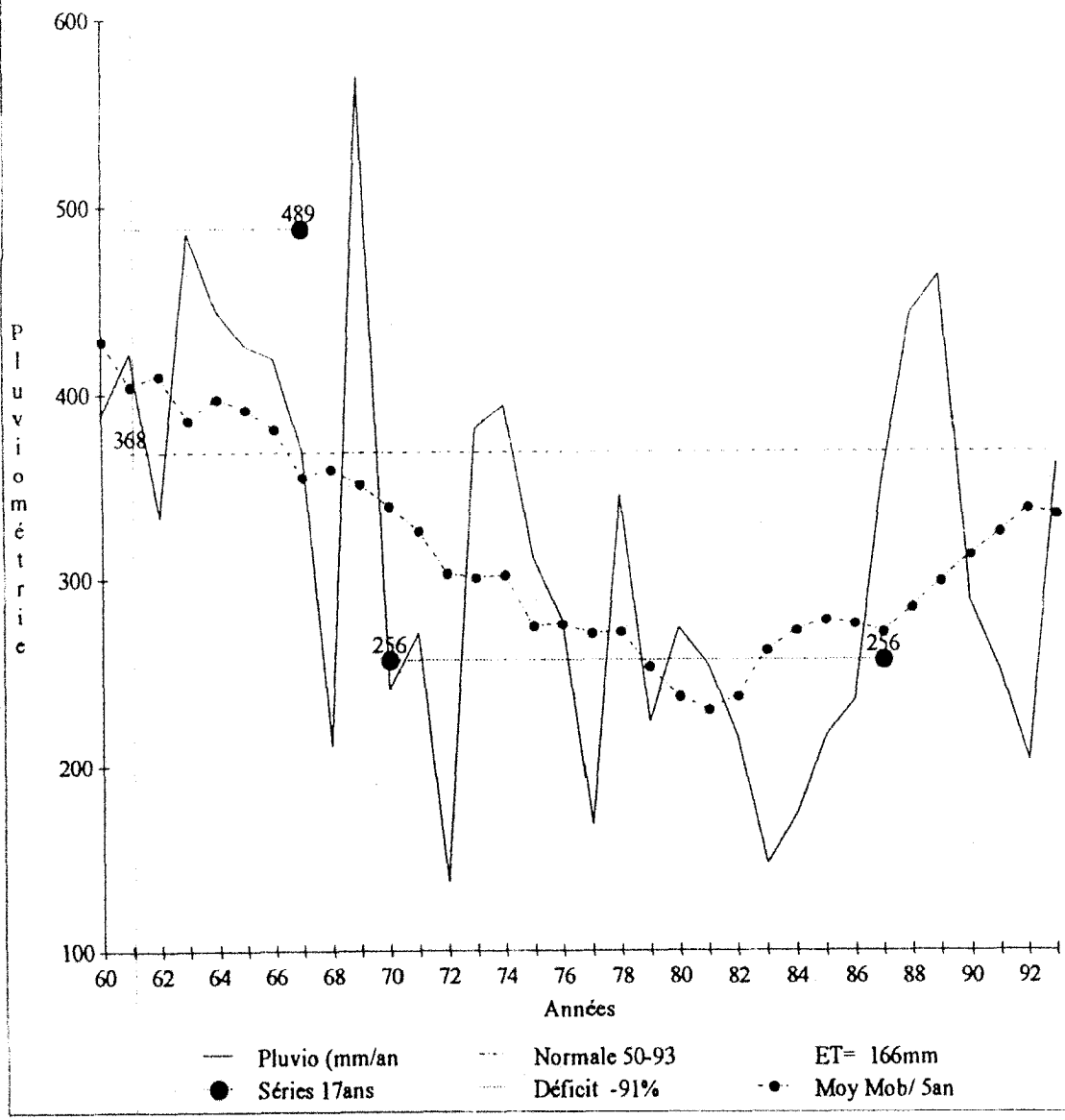
En sus de sa biologie florale, cette Légumineuse, nonobstant sa "cléistogamie" enterre sa graine. Les complexes biologiques ci-dessus recherchés et devant être introduits par hybridations artificielles conduisent à des coûts de recherche forts importants. Coûts, qu'il convient en ces temps de crise économique et budgétaire profonde, d'optimiser par l'amélioration des schémas de sélection utilisés.

Notre souci est donc, de rendre ces schémas plus efficaces qui soient à même d'augmenter la probabilité de créer et de déceler les génotypes tant désirés du fait de la nature stratégique de l'arachide pour la Nation.

ANALYSE

Évolution de la Pluviométrie - LOUGA

& Moyenne Mobile sur 5 ans



Graphe 1.

I. CADRE DE L'ÉTUDE

1. SITUATION GÉNÉRALE.

Située à cheval, dans les domaines sahélo-soudanien et soudano-sahélien à pédo-climat semi-aride et à végétation de type savane sèche arbustive, cette zone du Bassin Arachidier est caractérisée par des sols très sableux à sableux principalement soumis à une forte érosion éolienne. Communément appelée Centre-Nord, elle englobe les régions administratives de Louga, Thiès et Diourbel.

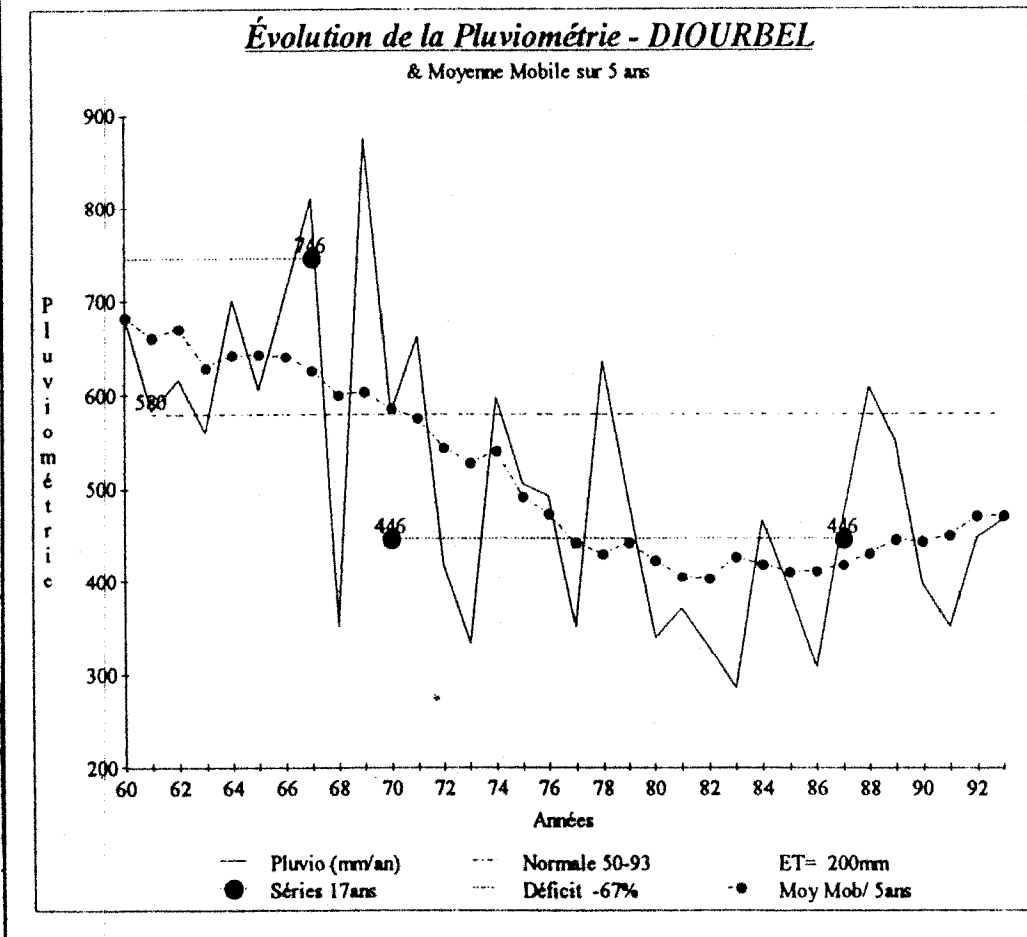
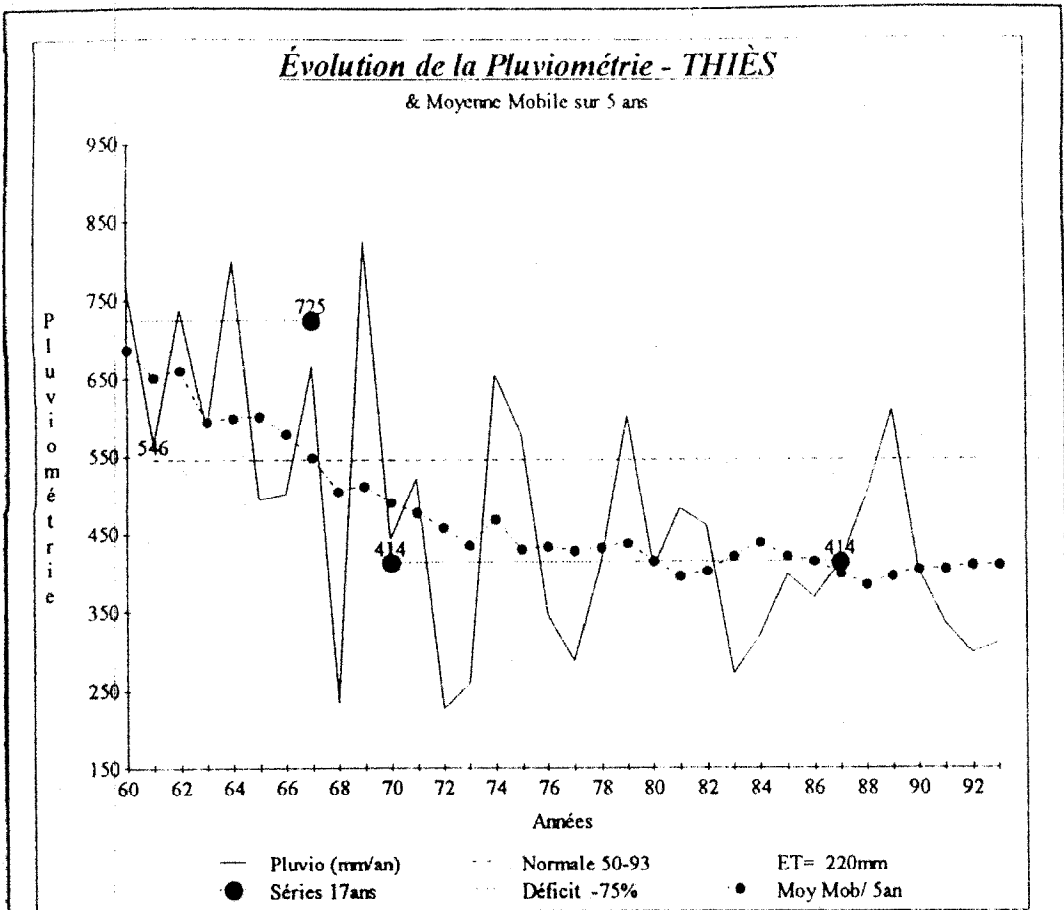
Géographiquement, elle occupe le Centre-Ouest du Sénégal, avec 32,3% des terres arables (source: Plan Céréaliier National, 1986) et 30,4% de la population.

2. ANALYSE des RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES.

- L'analyse fréquentielle des régimes pluviométriques, nous donne pour la région de Louga, à partir d'une base de 100 mm, seulement un mois pluvieux. Ce qui constitue un sérieux challenge dans la recherche de cycle cultural pouvant être satisfait.

L'évolution des cumuls annuels pluviométriques depuis l'année 1950, montre à partir des séries de 17 ans, deux périodes bien distinctes (graphe 1). La première série, de 1950 à 1967 avec 489 mm et un écart-type interannuel de 167 mm, permet de conclure à l'existence de périodes très brèves de sécheresse face à des périodes plus longues et très humides. La seconde série, allant de 1970 à 1987, ramène la moyenne à 256 mm avec une variabilité recentrée. Les tests unilatéral et bilatéral sur ces deux moyennes montrent une différence très hautement significative. Différence qui correspond à un déficit pluviométrique de 91%.

L'analyse de tendance à partir de 1950 à l'aide des moyennes mobiles pour une périodicité de 5 ans, si elle confirme la dégradation de la pluviosité



Graphes 2 & 3 respectivement.

dans cette région, elle montre tout aussi bien une amélioration qui semble se maintenir du fait que cela dure depuis les années 1984-85.

- ♦ Au niveau de la région de Thiès, sur la base des 100 mm, nous obtenons deux mois pluvieux (août et septembre). L'analyse des mêmes séries de 17 ans conduit à distinguer également deux périodes (graphe 2). La première, avec une moyenne de 725 mm et un écart-type interannuel de 184 mm, conduit à une instabilité identique à celle de Louga pour la même période. La seconde série, avec 414 mm de moyenne, maintient l'instabilité observée comme le montrent le graphe 2 et l'écart-type interannuel de 122 mm qui lui est associé. Cela conduit à un déficit hydrique entre ces deux périodes de 75%. Mais si cette différence est tout aussi très hautement significative pour les deux types de test avec une instabilité interannuelle identique pour les deux périodes, le véritable handicap pour cette région est révélé par l'analyse de tendance.

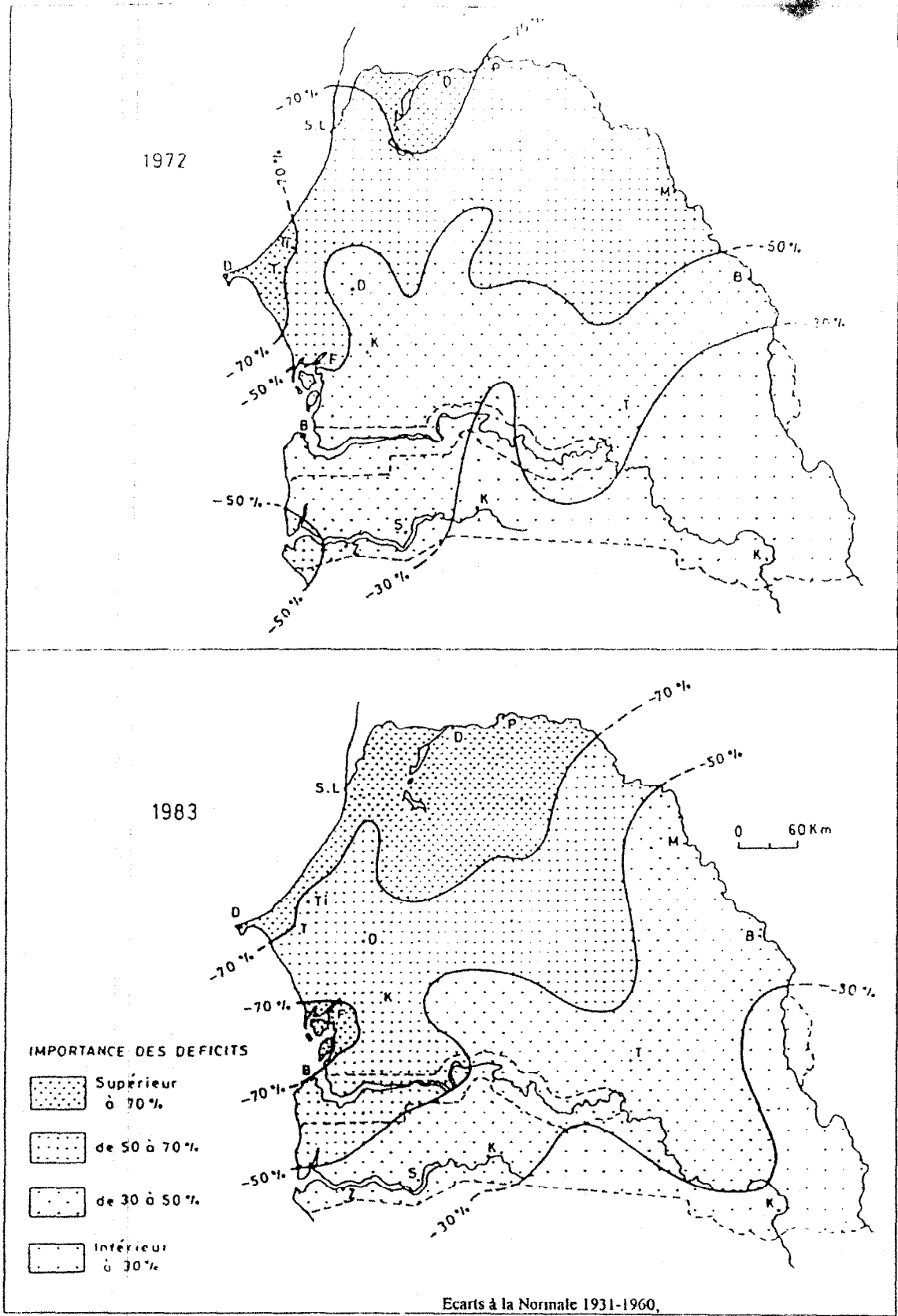
L'analyse, à l'aide des moyennes mobiles, montre deux phases de dégradation de la pluviométrie. La première très rapide (pente forte) et la seconde, bien que faible est tout de même négative. Ce qui n'est pas encourageant pour l'avenir des cultures et la fixation d'une longueur de cycle de développement dans cette localité.

- ♦ La troisième région d'étude, Diourbel, ne se différencie pas vraiment de la précédente. Elles ont le même nombre de mois pluvieux (annexe 1). De même, si l'analyse des séries avec respectivement 746 mm pour un écart-type interannuel de 155 mm et 446 mm avec un écart-type de 117 mm, montre une différence très hautement significative, les variabilités interannuelles respectives n'en demeurent pas moins fortes et identiques.

Ce qui permet de dire, qu'il n'y a pas un assèchement grave prolongé mais plutôt une variation de même fréquence que durant la période humide, autour des récentes moyennes de séries.

L'analyse de tendance permet de visualiser la dégradation de la pluviosité et un début de stabilisation de cette baisse depuis 1989-90 (graphe 3).

En sus de ces analyses de cumuls pluviométriques annuels, si nous y ajoutons la grande variabilité au niveau des fréquences de distribution des pluies sur l'ensemble d'une saison pluvieuse s'étalant de juin à octobre (Dancette, 1981;



Grphe 4.

Extension de la sécheresse en 1972 et en 1983.

Dancette et Al., 1982), nous pouvons conclure que le Centre-Nord du Bassin Arachidier est une zone à agriculture précaire et plus particulièrement à Louga, où l'aptitude culturale est déjà fortement atteinte.

Le Borgne (1988) montre pour le Sénégal, que ce dessèchement est général (graphe 4), avec une intensité variant, tout comme la pluviosité, selon un gradient Nord-Sud. Mais que cela allait bien au delà des limites de nos frontières.

3. SITUATION AGRICOLE et PLACE de l'ARACHIDE.

La crise actuelle de l'agriculture se fait principalement ressentir sur le pouvoir d'achat des paysans mais également sur le taux de croissance démographique de Dakar, qui est de 8% contre environ 3% pour le reste du pays.

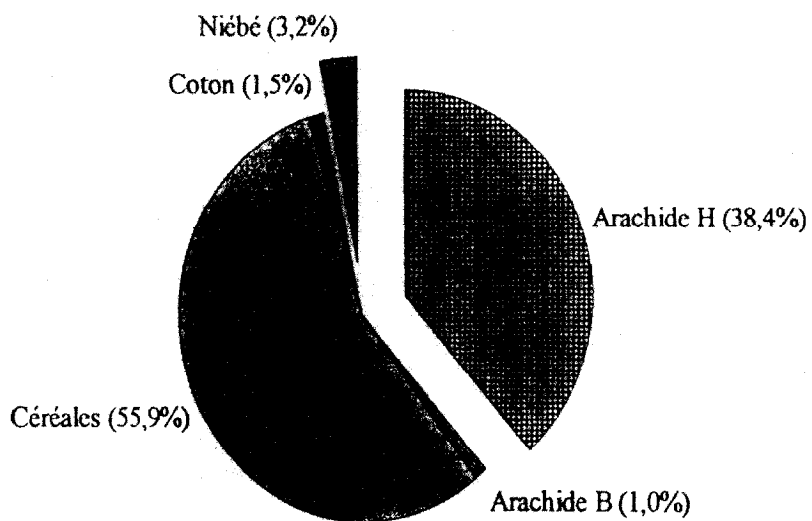
Mais si en moyenne seulement 57% des terres cultivables sont emblavées, l'arachide, culture de rente, occupe les 39%, le reste étant principalement partagé entre les différentes céréales (riz, mil-sorgho, maïs, fonio). Proportionnellement, la production d'arachide représente encore 43,8% de la production totale (graphe 5). Les raisons de cette suprématie sont d'ordre historique, psychologique, économique et de ses qualités intrinsèques .

☞ Très tôt le Sénégal indépendant, opta pour une politique d'assistance technique et financière vis-à-vis de cette spéculation, faisant d'elle la plus suivie. Cela est illustré à l'aide des moyennes mobiles sur les graphes 6, 7 et 8, de l'évolution de la culture à partir de 1960 dans les régions pionnières qui se trouvent être le Centre-Nord.

Ainsi, lors des grandes sécheresses, le recul de la culture a pu être contenu grâce au niveau d'organisation de la filière et à l'injection rapide de nouvelles variétés moins exigeantes en eau et plus productives, entraînant une reprise rapide de la production dans cette zone devenue "essentielle". Durant les années 1975, suite à la conquête de nouvelles surfaces grâce à l'adoption de technologies adaptées, libératrices (traction bovine, charrues, semoirs, souleveuses, ...), la production avoisinait le million de tonnes base coque pour

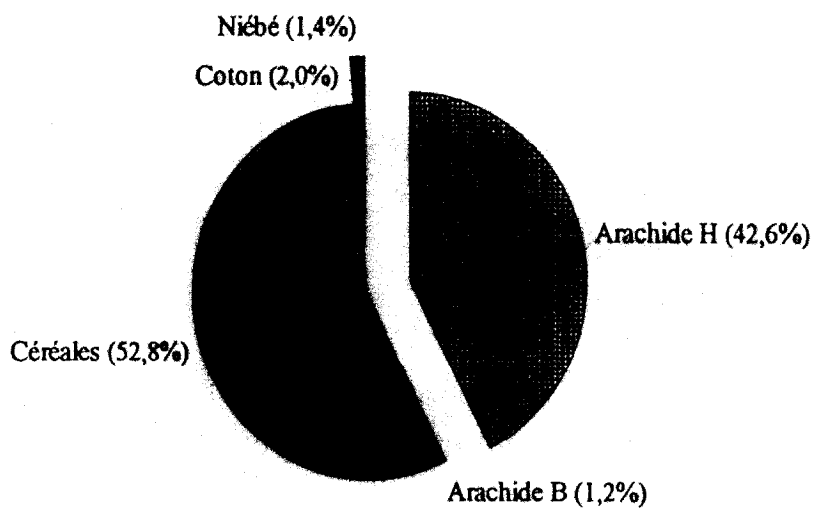
Superficies emblavées - SÉNÉGAL

(Moyenne 1986-1991)



Répartition des Productions - SÉNÉGAL

(Moyenne 1986-1991)



Graphe 5.

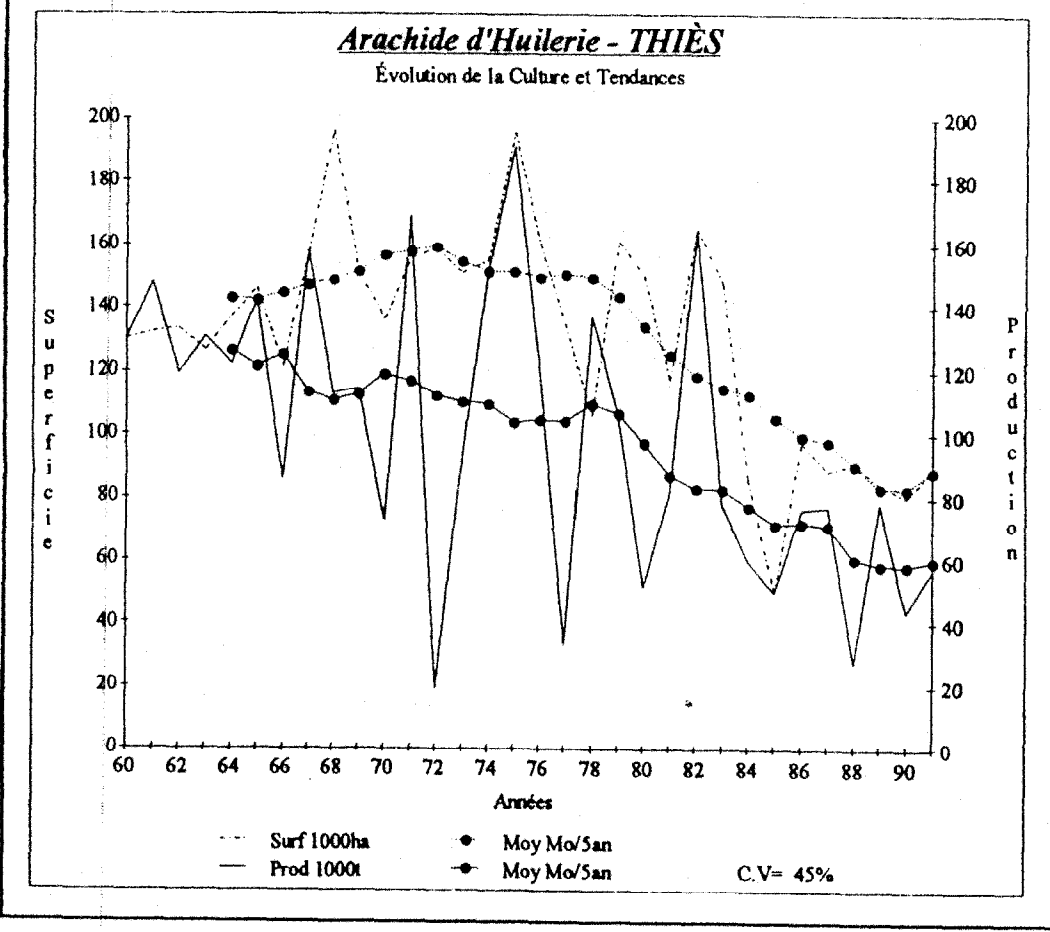
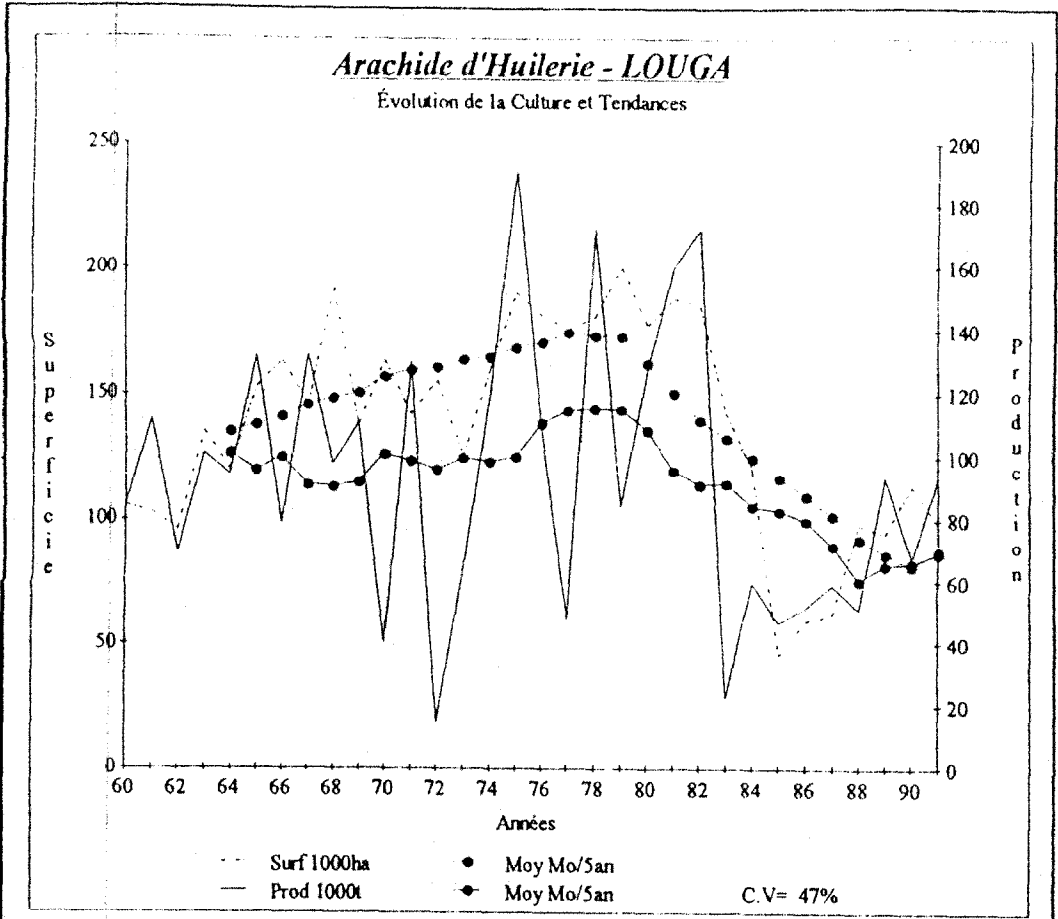
3,5 millions d'habitants. L'arachide pesa ainsi de tout son poids de culture commerciale dans l'économie nationale largement dépendante d'elle.

☞ La raison psychologique est l'attachement du monde rural à cette spéculation devenue partie intégrante de la Culture paysanne (Gaye, 1992; Gning, 1991).

☞ De par ses qualités, l'arachide possède la meilleure huile de cuisson du fait de sa stabilité aux hautes températures et une assez bonne huile de table avec environ 20% d'acides gras poly-insaturés (acides gras essentiels) et 25% en matière sèche de protéines. Son seul handicap, ses 7% d'acides gras saturés alors que la norme internationale est de 5% ou la présence d'Aflatoxine (Fletcher et Al., 1992). L'arachide, culture à fort revenu monétaire, peut dorénavant être également classée parmi les cultures vivrières car environ 200.000 tonnes sont auto-consommées chaque année. Nonobstant l'utilisation de ses sous-produits (tourteaux: 55% de protéines en sec) pour l'alimentation animale (Little et Al., 1991), ses fanes n'en demeurent pas moins très prisées, donc monnayable du fait de leur haute valeur nutritive (0,5% Unité Fourragère par kg de fanes). Ce qui leur confère une très forte plus-value en période de sécheresse.

☞ Spéculation à fort revenu monétaire! Certains économistes tel Badiane (1992a) ont montré que la crise, pour ce qui concerne l'arachide, est principalement due à des facteurs endogènes maîtrisables car liés aux politiques agricoles commerciales, budgétaires et monétaires, étant entendu que les prix à l'exportation d'un pays comme le Sénégal étaient largement supérieurs à ceux pratiqués par les concurrents sur le marché international. Alors que, au niveau du cours mondial des oléagineux, l'arachide était dotée ces dix dernières années, d'un surprix très substantiel (Badiane, 1992a; Schilling, 1992).

De ce fait, les pays exportateurs qui ont su profiter de ce surprix sont ceux d'Asie et d'Amérique Latine, qui ont vu leur part combinée du marché passer d'un peu plus de 10% à 50% des exportations mondiales, pendant que celle des pays du Conseil Africain de l'Arachide (Gambie, Mali, Sénégal, Niger, Nigéria, Soudan) passait de 62% à 20% pour les périodes 1961-65 à 1986-88 (Badiane, 1992b). Ce qui indique que nous sommes plus en face d'un problème de compétitivité que de demande de marché. Qui plus est, la part allouée au



Graphes 6 & 7 respectivement.

marché régional dans le commerce des huiles végétales, montre la grande faiblesse de la coopération économique régionale

⇒ - Qu'en sera-t-il face à la toute récente politique monétaire Ouest Africaine ? -Quelle sera l'évolution de cette culture, devenue de moins en moins rémunératrice ces dix dernières années, pour le producteur sénégalais ?

Le graphe 9 montre, pour une zone à aléas pluviométriques fréquents comme le Centre-Nord du bassin arachidier, que :

(1) sa contribution dans le potentiel de production nationale était significative (35% en moyenne);

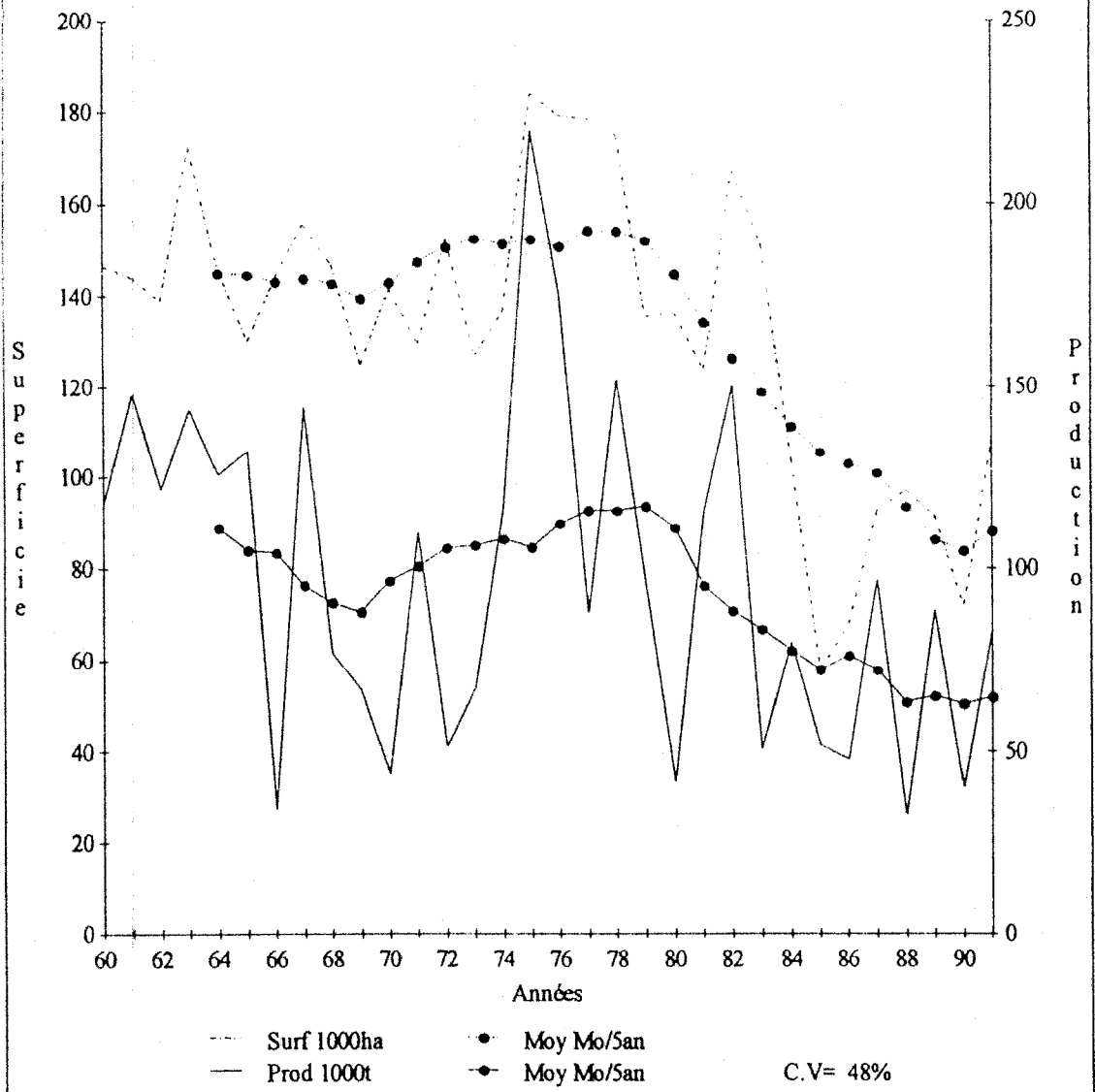
(2) l'évolution de la culture n'y est pas uniquement liée à la contrainte pluviométrique -comme l'illustrent les périodes 75-79 et 80-84 où le Centre-Nord maintient sa contribution malgré une réduction drastique de la pluviométrie; mais également à la politique agricole (arrêt des subventions, coût du crédit agricole, coût du renouvellement du parc de matériels, prix aux producteurs, coût des semences certifiées, ...) liée au plan d'ajustement et à la détérioration des termes de l'échange, qui lui ont fait perdre son attrait économique. Même si le goût du risque des exploitants est quelque peu atténué au regard des variétés obsolètes encore présentes sur le marché des semences face à la "nouvelle" donne climatique.

Face à la crise de l'agriculture et principalement de la culture arachidière, des propositions intéressantes de relance de la filière ont été faites par des structures comme le Comité National Interprofessionnel de l'Arachide, le Projet Autonome Semencier. A notre humble avis, ce qui paraît impératif est:

- Le maintien d'un capital semencier de qualité et en quantité (1. créations variétales nouvelles, 2. pureté variétale, 3. stock de sécurité).
- L'augmentation de la qualité des produits dérivés en relation avec les normes du marché international (baisse du taux d'Aflatoxine, du taux d'acides gras saturés) et le développement de créneaux porteurs à plus-value importante (Arachide de Bouche).
- Une politique des prix incitative (baisse des coûts de production surtout des semences certifiées produites par leurs utilisateurs, prix aux producteurs acceptable, ...).

Arachide d'Huilerie - DIOURBEL

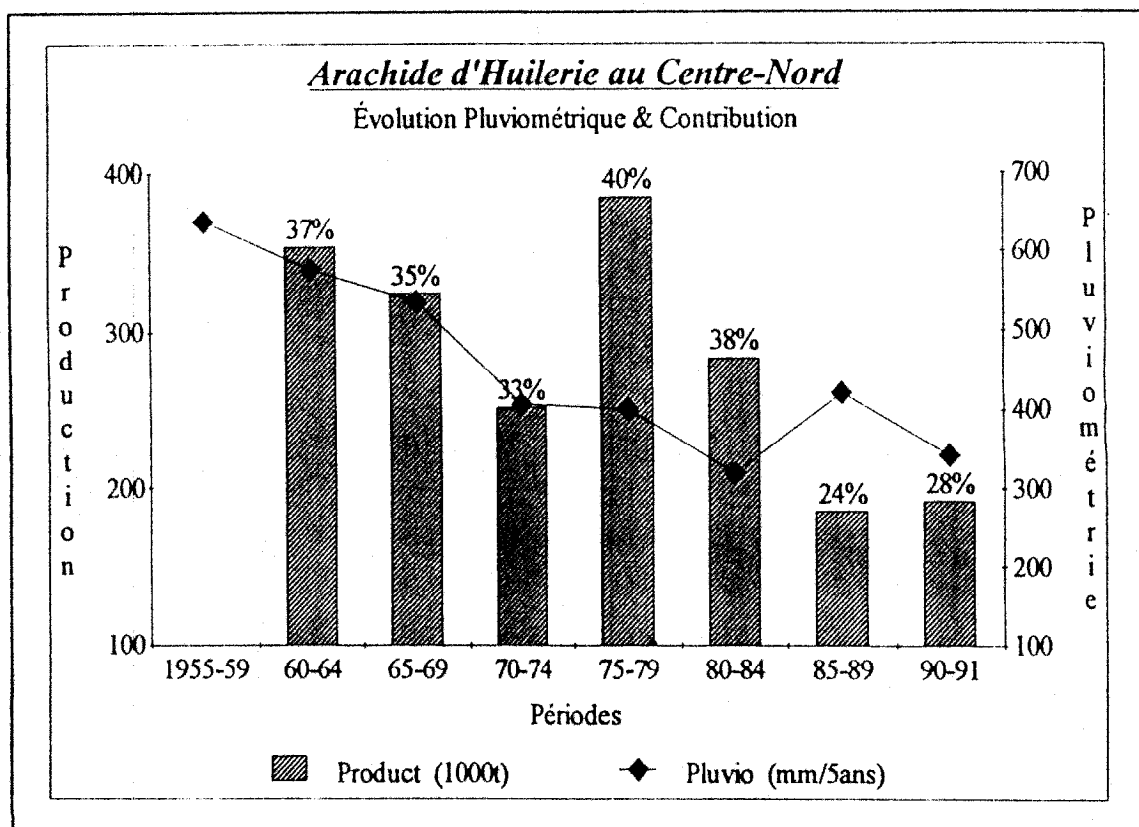
Évolution de la Culture et Tendances



Graphe 8.

- Une politique budgétaire plus adéquate par une mise à disposition rapide et efficace des crédits de collecte pour une déstabilisation du marché parallèle.
- La poursuite de la politique de dépérissement de l'Etat et mise en oeuvre de mesures d'accompagnement, suite à la création d'Opérateur de droit privé, face à la modicité de la base financière de l'agriculteur sénégalais.
- Un report, durant une certaine période au moins, d'une partie des charges de l'Etat vers la maintenance du capital foncier (fertilisation, lutte anti-érosive,...).
- Le financement des recherches prospectives et d'accompagnement.
- La mise en place d'une banque de données fiables.

⇒ Cela est d'autant plus important, qu'outre le relèvement du poids de l'arachide dans la balance commerciale ou de la valeur ajoutée qu'elle génère (environ 34% du produit intérieur brut), la relance de la filière comme de l'agriculture en générale, est pour l'heure, une exigence sociale avant d'être économique.



Graphe 9.

II. ANALYSE DU PROGRAMME DE SÉLECTION POUR L'ADAPTATION A LA SÉCHERESSE.

1. SYNTHÈSE des ACQUIS de 1983 à 1991.

1.1 Objectifs de l'étude,

A partir de la justification donnée à la nouvelle Opération de recherche, il est ressorti, que pour lever la contrainte de manière durable, il faudrait obtenir des génotypes capables de tolérer des périodes de sécheresse au cours du cycle.

Ainsi les objectifs définis sont, la compréhension des différents mécanismes d'adaptation mis en oeuvre chez l'arachide et l'utilisation des plus pertinents dans le processus de création variétale. Ce qui permettra d'obtenir de nouvelles variétés d'arachide physiologiquement adaptées aux contraintes hydriques du Sahel.

1.2 Méthodes d'analyse utilisées et résultats,

Dans ce nouveau processus d'amélioration, un diagnostic en deux temps est réalisé :

☞ Climatologique, afin de caractériser rigoureusement la zone d'étude et donc les types de sécheresse auxquels nous devons faire face (Dancette, 1979; Annerose et Diagne, 1990; Annerose, 1991);

☞ Physiologique, qui permet de définir des idéotypes d'adaptation physiologique à la sécheresse et dans le même temps, la méthodologie des tests de criblage à réaliser (Annerose, 1988; 1990).

A partir des différents caractères retenus dans les idéotypes, l'étude génétique précisera l'idéotype correspondant à rechercher par la sélection afin d'aboutir au produit attendu, la variété.

⇒ L'analyse bioclimatologique réalisée, a permis de différencier deux causes principales à la baisse de production et de qualité de récolte constatée par

les services de l'agriculture. Cette analyse a fait ressortir deux types de sécheresse: un premier type à pluviométrie très limitée et un second type où la principale contrainte est les périodes d'absence de précipitation durant la saison hivernale. Ces deux types ont conduit à la constitution de deux zones d'étude, de situations géographiques Nord et Centre du Bassin Arachidier (Dancette et Forest, 1982; Khalfaoui, 1991b) respectivement.

1.2.1 La zone Nord,

1.2.1.1 Etude agro-bioclimatologique,

Cette étude réalisée à l'aide du calcul de la fréquence la plus probable de longueur de cycle végétatif satisfait, montre que le paramètre réduction du cumul pluviométrique est le plus important, car diminuant la période humide. Ce qui a pour effet de rendre la réserve utile en eau du sol faible. Mais la variabilité interannuelle de la longueur de la saison pluvieuse entraîne la nécessité d'une prise en compte du phénomène de dormance des graines.

La réduction de la longueur de la période humide empêche à une variété comme la 73-30 de boucler son cycle de reproduction entraînant une forte diminution des rendements en semences.

Ainsi l'idéotype aura, en plus du cycle satisfait et de la dormance des graines, un système racinaire développé, un contrôle stomatique rapide en cas de stress hydrique afin d'économiser l'eau du sol et une bonne résistance protoplasmique. Ces caractéristiques sont celles de la variété 73-30, le cycle satisfait en moins.

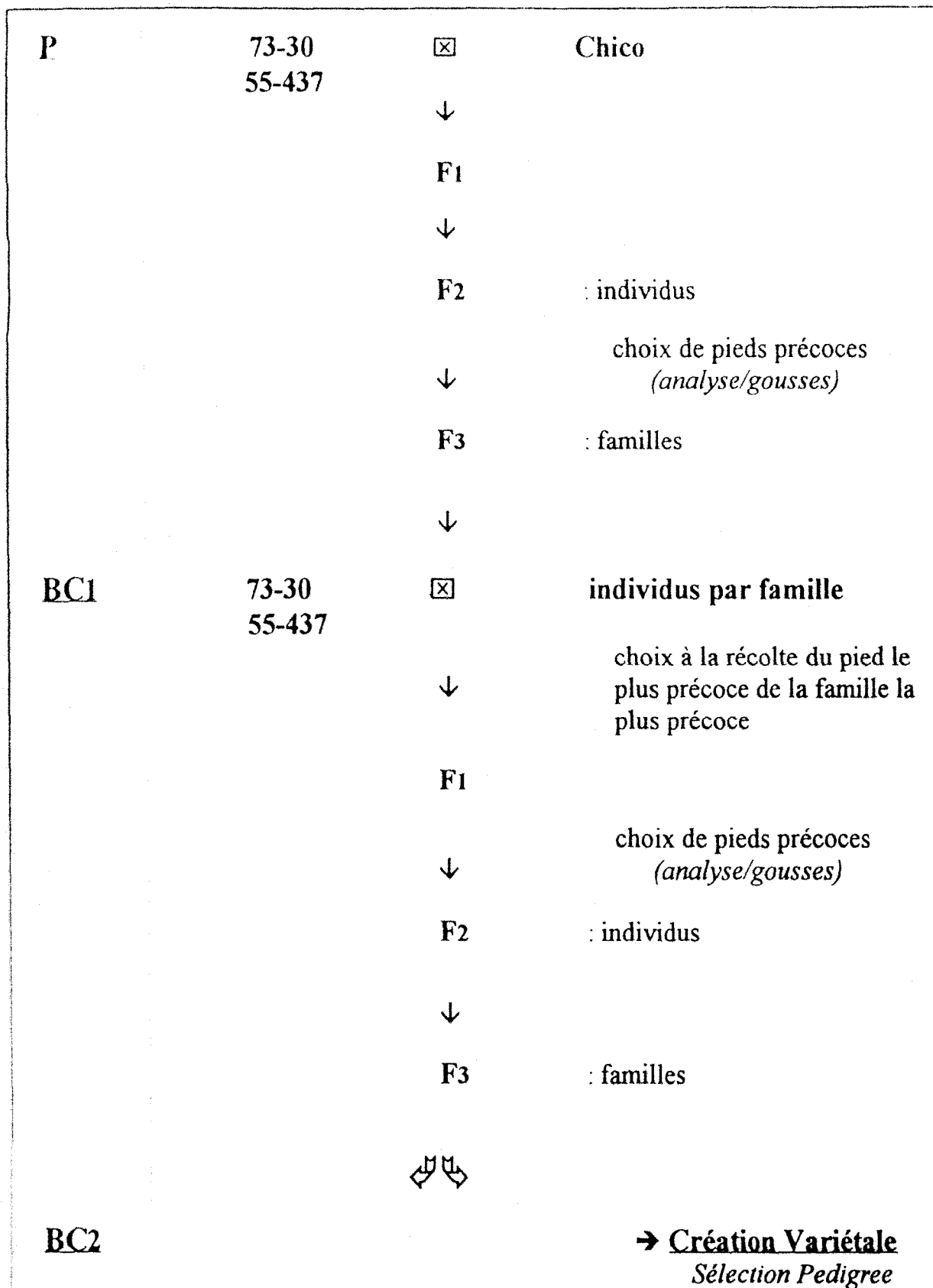
1.2.1.2 Etude génétique,

α) Dormance des semences,

Elle est étudiée sur les générations F1, F2, F3, les 2 back-cross (BC1, BC2) et les parents d'un croisement entre les variétés Chico (Spanish de 75 jours de cycle) et 73-30 (Spanish de 95 jours et dormante), selon le modèle d'interactions alléliques digéniques de Mather and Jinks (1982).

Les effets génétiques recensés sont de types additif, de dominance et épistatique digénique dupliqué entre les allèles dominants. Les héritabilités *sensu stricto*, calculées selon les modèles de Lush (1945) et de Falconer (1961),

Schéma de Sélection par Back-cross pour la précocité de maturité (Khalifaoui, 1988). (Géiteur de précocité : Chico)



Grappe 10.

ont pour valeurs respectives 0,49 et 0,57 montrant qu'une sélection généalogique sur la dormance des semences pourrait être efficace (Khalifaoui, 1991a).

β) *Précocité,*

Elle est étudiée à partir des mêmes générations et croisement que précédemment, selon le modèle d'additivité-dominance des effets de paires de gènes de Mather and Jinks (1982). Ses effets génétiques montrent une supériorité très nette des effets additifs, une dominance faible et une absence d'effet épistatique. Du fait de l'adéquation au modèle d'additivité-dominance, le nombre de facteurs génétiques qui, selon le modèle de Castle and Wright (1921), sont responsables de la différence de précocité de maturité entre les lignées parentales Chico et 73-30 est égale à 2-3. Mais les héritabilités sont faibles (0,24) pour les deux modèles (Khalifaoui, 1990b).

Au niveau des corrélations génétiques entre les différents paramètres de précocité, on peut conclure que la précocité de mise à floraison ne peut servir de test précoce pour la maturité à la récolte du fait de l'absence de liaison entre ces deux composantes (Khalifaoui, 1990a).

1.2.1.3 Méthodes de sélection,

α) *Sélection par back-cross,*

Le faible nombre de paires de gènes majeurs en cause dans la précocité de maturité à la récolte du géniteur le plus précoce qui est disponible en collection, Chico, a permis d'adopter la méthode du back-cross afin de transférer les allèles de précocité dans les variétés agronomiquement intéressantes.

Du fait de leur récessivité, la sélection des individus devant subir le back-cross est réalisée sur les plantes F₃ afin de ne retenir que les porteurs d'allèles de précocité, qui seront croisés avec le parent femelle récurrent (73-30 ou 55-437).

A la récolte des F₁, l'analyse de maturité des gousses permet de sélectionner la famille la plus précoce puis de l'individu le plus précoce (graphe 10).

Le programme a déjà atteint les stades 6ème sur 73-30 et 5ème back-cross sur 55-437 (Fall, 1993), qui ne sont pas encore réalisés. La création variétale est faite à des niveaux quelconques du processus d'isogénéisation, par des sorties en sélection pedigree.

β) *Sélection pedigree.*

A partir de croisements naturels sur Chico et par sélection pedigree, du fait que la grosseur des graines est hautement héritable (Martin, 1967); les descendances de ces croisements ont permis sur quatre ans (4 campagnes agricoles) d'isoler quatre lignées soeurs. Dénommées Grand-Chico 3-37, 8-31, 8-13 et 8-35, ces lignées soeurs ont un poids de cent graines supérieur à celui de la 55-437 témoin local; un pourcentage de gousses matures à 80 jours après semis identique à celui du parent connu, Chico; une production de gousses supérieure à celle de la 55-437 (Khalifaoui et Annerose, 1988; Khalifaoui, 1992).

La sortie réalisée suite au premier back-cross sur 55-437 a permis d'isoler 16 lignées de 75 jours de cycle qui ne sont pas significativement différentes de la 55-437 et la plupart sont significativement inférieures à la GC8-35 pour la production de gousses. Sont également issues de ce back-cross, 14 lignées de 90 jours qui sont inférieures à la variété Fleur 11 (Mortreuil, 1993a).

1.2.2 La zone Centre,

1.2.2.1 Etude agro-bioclimatologique,

Dans cette zone, le facteur limitant est dû à l'existence de périodes d'absence de précipitation durant la saison pluvieuse (annexe 1) et donc à différents moments du cycle de développement de la culture. Leur impact négatif sur le rendement d'une culture d'arachide, surtout quand elles interviennent pendant et/ou après la période de floraison utile, nous est connu depuis les années 1930-1940 grâce à Bouffil (1954). Mais outre la baisse des rendements, les conséquences sont aussi une dégradation de la valeur semencière de la culture l'année suivante, obérant deux années consécutives la production (Piéri, 1989).

L'idéotype d'adaptation physiologique défini, pour réduire ces effets négatifs, dans le cas de l'arachide (Annerose, 1988; Viera da Sylva, 1988) contient globalement 4 caractères dont deux d'évitement et deux de tolérance qui sont respectivement:

- les dimensions du système racinaire,
- les réserves glucidiques dans les racines,
- la transpiration stomatique,
- la résistance protoplasmique à la dessiccation et à la chaleur.

Basés sur la classification de Levitt (1972), l'évitement de la sécheresse exprime la capacité du végétal à supporter des sécheresses significatives en cours de cycle tout en permettant à ses tissus de conserver un potentiel hydrique élevé; la tolérance, exprime elle la capacité du végétal à maintenir l'intégrité fonctionnelle et structurale de ses tissus quand son potentiel hydrique est faible (Annerose, 1988).

1.2.2.2 Etude génétique,

Par l'étude de croisements diallèles, l'hérédité des caractères morpho-physiologiques adaptatifs a été obtenue (Khalifaoui, 1988), suivant le modèle de Gardner and Eberhart (1966) analyses II et III :

Analyse III: $C_{ij} = \mu_c + g_i + g_j + s_{ij} \quad i \neq j,$

C_{ij} = performance du croisement entre les parents i et j ,

μ_c = performance moyenne des croisements,

g_i (g_j) = aptitude générale à la combinaison du parent i (j),

s_{ij} = aptitude spécifique à la combinaison des parents i et j .

Analyse II: $P_{ij} = \mu_v + \frac{1}{2}(v_i + v_j) + \gamma h + \gamma (h_i + h_j) + \gamma s_{ij},$

$\gamma = 0$ si $i = j$, et $\gamma = 1$ si $i \neq j$, $h_{ij} = h + h_i + h_j + s_{ij},$

P_{ij} = performance du parent i si $i = j$,

du croisement entre les parents i et j si $i \neq j$,

μ_v = performance moyenne des parents,

v_i (v_j) = déviation par rapport à μ_v de la performance du parent i (j),

h = hétérosis moyen de l'ensemble des croisements,

h_i (h_j) = déviation par rapport à h de l'hétérosis moyen des croisements impliquant le parent i (j),

s_{ij} = aptitude spécifique à la combinaison des parents i et j .

h_{ij} = hétérosis du croisements entre les parents i et j .

L'hérédité cytoplasmique est testée en comparant les moyennes et les variances des générations F2 des croisements réciproques.

α) *Développements aérien et radiculaire,*

Utilisation d'un diallèle 6x6 sans réciproque en aéroponie (culture sur brouillard nutritif projeté sur les racines). L'étude a tout d'abord permis d'observer:

- ♦ l'existence d'une forte corrélation positive entre les longueurs de développement aérien et radiculaire; qui va gêner l'obtention d'un idéotype

d'adaptation présentant à la fois un système racinaire important capable de bien exploiter l'eau disponible dans le sol et un système aérien limité afin de réduire les pertes en eau par transpiration.

- l'existence d'une corrélation entre la tardiveté et la profondeur d'enracinement, qui va également gêner l'obtention de l'idéotype pour la précocité.
- l'existence d'une corrélation entre profondeurs d'enracinement aux stades juvénile et adulte a permis l'adoption d'un test précoce pour ce caractère.
- l'inexistence de corrélation entre profondeur d'enracinement et volume racinaire rend difficile l'obtention de l'idéotype. Ce qui implique l'exercice d'une pression de sélection sur chacun des caractères.

Sur l'hérédité, l'étude montre une prépondérance des effets d'aptitude générale à la combinaison (AGC) représentant les effets additifs et épistatiques additif-additif en situation CIS. L'existence d'effets d'aptitude spécifique à la combinaison (ASC), traduit la présence d'effets de dominance et épistatiques en situation TRANS, confirmés en cela par l'existence d'effets nets d'hétérosis pour le développement racinaire. Par contre les effets d'ASC, pour le développement aérien sont moins importants (non significatifs) mais l'hétérosis variétal est tout de même hautement significatif.

La forte corrélation de rang champ-aéroponie a permis de valider les résultats obtenus en aéroponie.

β) Réserves glucidiques au niveau des racines,

L'inexistence de variabilité génétique pour ce caractère a fait rejeter ce critère de l'idéotype d'adaptation.

γ) Transpiration,

L'hérédité du contrôle stomatique, obtenu par la courbe de réponse de la contenance relative en eau des feuilles en fonction du temps, est déterminée par des effets d'AGC et d'ASC de valeurs égales. Les effets génétiques non-additifs sont dus principalement à l'ASC et secondairement à l'hétérosis variétal.

Le contrôle stomatique et un système racinaire développé, sont deux mécanismes qui tendent à minimiser le déficit hydrique interne de la plante. Le contrôle stomatique agit dans le sens d'une meilleure gestion de l'eau en régulant

les déperditions au profit de l'atmosphère, par opposition au système racinaire, qui explore un plus grand volume de sol pour continuer d'alimenter en eau la plante, à partir de la réserve du sol.

La réserve utile en eau du sol plus ou moins importante dans cette zone permet de minimiser le déficit hydrique interne de la plante. Un contrôle stomatique lent est proposé, dans le but de maintenir la photosynthèse durant la période de sécheresse pour une production en gousses accrue.

λ) Résistance protoplasmique à la chaleur,

Obtenue selon la formule :

[(conductimétrie à 90°C - cond. 50°C) / cond. 90°C], son hérédité n'est déterminée quasiment que par des effets génétiques additifs, l'ASC étant très faible et les effets d'hétérosis nuls.

⇒ L'idéotype d'adaptation retenu par le sélectionneur comporte: un système racinaire profond et dense sur toute la longueur, un système aérien à développement moyen, une régulation stomatique lente, une bonne résistance protoplasmique. Ces caractères présentent tous une bonne AGC et une ASC moyenne à faible.

1.2.2.3 Méthodes de sélection,

α) Sélection récurrente,

A partir de huit lignées parentales retenues pour leur bon comportement en serres pour les trois paramètres morpho-physiologiques, au champ pour leur productivité et en fonction de leur distance génétique évaluée à partir de leur origine géographique d'obtention et des deux types botaniques cultivés (annexe 2):

- ♦ Obtention de la première population de base (P₀) à partir d'un schéma de croisements pyramidaux dans le but d'équilibrer les génotypes et d'augmenter la fréquence des recombinaisons.

Schéma de Sélection récurrente pour l'adaptation à la sécheresse *sans tenir compte de l'interaction génotype x milieu* (Khalifaoui, 1988).

47-16 TS32-1 57-422 68-111 59-127 55-437 73-33 79-40

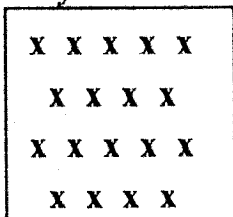
Plan pyramidal de croisements des 8 parents de la 1ère population (*SRI*)



P₀

1° cycle

Autofécondation



	f1	2	3	f _n		f _{n+1}	2	f _{n+m}	
	:	:	:	:		:	:	:	
'S1 Tests	:	:	:	:		:	:	:	'S1 Test
Physiologiques	:	:	:	:		:	:	:	Agronomique

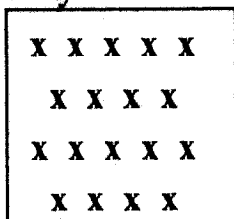


Intercroisement

P₁

2° cycle

Autofécondation



	f1	2	3	f _n		f _{n+1}	2	f _{n+m}	
	:	:	:	:		:	:	:	
'S1 Tests	:	:	:	:		:	:	:	'S1 Test
Physiologiques	:	:	:	:		:	:	:	Agronomique



vers **3° cycle**

→ **Création Variétale**
Sélection Pedigree

Il a été tenu compte de l'hérédité cytoplasmique rencontrée sur les caractères de production (Garet, 1976). Ainsi, à partir des hybrides simples des croisements réciproques sont réalisés avec un suivi du cytoplasme des lignées tardives plus productives.

- Du fait que ce sont des lignées pures qui sont vulgarisées et de la prépondérance des effets d'AGC sur les caractères morpho-physiologiques et agronomiques retenus, il est recherché une bonne valeur variétale en autofécondation d'où des tests en S1 (Khalifaoui, 1988).

- Le schéma de sélection se poursuit par la division de la population source dénommée *SR1* en deux sous-populations pour leur faire subir chacune, une série de tests (divergence). Le test sur les caractères adaptatifs en serres, sur une des sous-populations, par induction d'une sécheresse intense; le test sur les caractères agronomiques en plein champ, sur la seconde sous-population en condition non-limitante pour un potentiel de production.

Une sélection famille puis individu dans famille est pratiquée sur chacune des sous-populations (graphe 11), le résultat est intercroisé -pour associer les caractères désirés- fournissant la nouvelle population améliorée (*P1*) (convergence). De là un nouveau cycle de sélection a démarré de même qu'une extraction de variétés mais il n'y a pas eu d'opération d'intercroisements devant créer la seconde population améliorée (*P2*) de *SR1*. Un progrès de 13% entre les deux cycles (*C0* & *C1*) est obtenu sur le rendement en gousses par pied (Khalifaoui, 1992).

A partir de huit autres lignées parentales, issues des trois types botaniques : Spanish, Virginia et Valencia, une nouvelle population dénommée *SR2* est créée de la même manière que *SR1*. Elle se trouve au stade *P0*, génération *S2*.

β) Sélection par back-cross,

Lors de l'étude physiologique pour la création de la population de base de *SR1*, une lignée à grosses graines s'est distinguée, la 57-422. Ses défauts sont un besoin important en eau pour la germination et une sensibilité à une sécheresse de fin de cycle du fait de la durée de remplissage de sa graine.

La correction à apporter, porte donc sur la grosseur de sa graine.

L'étude génétique de Martin (1967), sur laquelle le schéma de sélection est basé, a montré que la grosseur des graines était gouvernée par 5 paires de gènes majeurs, ayant quasiment le même effet. Il n'y a ni effet de dominance, ni effet réciproque. L'héritabilité *sensu stricto*, calculée selon le modèle de Smith (1950) du fait de l'adéquation au modèle d'additivité-dominance du caractère, a une estimée assez forte (0,66). Cette simplicité génétique permet une fixation rapide.

Le schéma de sélection est donc par back-cross entre les lignées pures 57-422 et 55-437 connue pour la petitesse de ses gousses. Le back-cross est réalisé sur la F3. A l'isogénéisation, la sortie en création variétale par sélection pedigree aura lieu. Le programme est au niveau du troisième back-cross mais une extraction variétale fut faite à la suite des deux premiers back-cross.

γ) Sélection pedigree,

La sortie réalisée après le premier cycle de sélection récurrente a conduit à 21 lignées fixées, qui ne sont pas vraiment supérieures au rendement de la 55-437 et qui sont très inférieures à la variété Fleur 11 (Mortreuil, 1993b). Des familles F3, issues de cette population (SR1) sont encore en sélection.

Les sorties réalisées après les premier et second back-cross sur 57-422, ont permis d'identifier quelques génotypes qui sont au stade lignées F5 et F3 respectivement.

2. CRITIQUES.

2.1 De l'étude génétique,

2.1.1 Pour une sélection oligogénique,

Le principe de la méthode du Scaling test de Mather and Jinks (1982), permettant de connaître la nature et le type des unités en ségrégation a été utilisé par plusieurs auteurs (Huet et Ecochard, 1961; Edwards et Al., 1976; Sidwell et Al., 1976; Gumber et Al., 1983; Schonfeld et Al., 1988; Kearsey and Pooni, 1992).

A partir de 6 générations d'un plan de croisements (P1, P2, F1, F2, BC1, BC2) et suite à l'hypothèse de normalité des distributions, une analyse de

variance est réalisée pour tester: (1) l'homogénéité des variances résiduelles des générations homogènes; (2) la variabilité génétique du caractère. Ensuite, l'hypothèse d'additivité des effets des paires de gènes est éprouvée à partir des moyennes de générations (Generation means).

☞ En cas d'adéquation au modèle d'additivité, on peut estimer et tester les moyennes des effets génétiques principaux (m, d, h) et les composantes de la variance totale que sont les variances environnementale, d'additivité et de dominance des effets des gènes (E, D, H). Ces effets sont testés à l'aide du T-test.

D'autres auteurs (Kotecha and Zimmerman, 1978; Kassem et Al., 1981; Singh et Al., 1983; Halward and Wynne, 1991) utilisent plutôt la méthode du Joint Scaling test de Cavalli (1952), qui:

- Estime les effets principaux des paires de gènes et d'interactions non-alléliques selon une forme matricielle à l'aide de la méthode des moindres carrés pondérés. Méthode, qui a la propriété de réduire le biais introduit suite à l'utilisation des carrés moyens résiduels associés à des générations (en disjonction et homogènes) ayant un nombre d'individus très différent, comme indiqué dans les protocoles expérimentaux des études ci-dessus évoquées.
- Prend en compte simultanément l'information de toutes les 6 générations présentes donnant ainsi une estimation plus précise des composantes génétiques (m, d & h).
- Teste l'adéquation au modèle additif par le critérium du χ^2 .

Sa différence d'avec le Scaling test, provient du nombre de générations employé lors de l'estimation sans biais des paramètres et du degré de liberté supérieur.

☞ En cas d'inadéquation au modèle, on peut estimer et tester les 6 valeurs des effets génétiques principaux et d'interactions alléliques digéniques (m, d, h, i, j, l) et les composantes de la variance génétique des moyennes de génération que sont les variances d'additivité, de dominance, d'interactions non-alléliques de types additif-additif [i], additif-dominance [j] et dominance-dominance [l] selon le modèle de Jinks and Jones (1958).

Certains auteurs (Kassem et Al., 1981; El Hosary and Nawar, 1984; Chu and Croughan; 1990; Halward and Wynne, 1991) ont préféré le modèle d'analyse des effets des gènes de Gamble (1962). Ce modèle s'apparente beaucoup à celui, plus connu, de Hayman (1958), car entre ces deux modèles, il n'y a aucune

différence au niveau de la paramétrisation. Leur moyenne est simplement celle de la génération F₂. Tous les effets sont éprouvés à l'aide du T-test.

⇒ Les modèles du Scaling test de Mather and Jinks (1982) et du Components of Generation means de Jinks and Jones (1958) pourraient suffire à une étude génétique car ils peuvent nous informer sur le comportement héréditaire du caractère étudié. Ils fournissent une estimation des paramètres génétiques m , d , h , i , j et l ; des héritabilités aux sens large et strict; du degré de dominance ($\sqrt{H/D}$) et des coefficients de corrélations génétiques additives si au moins deux caractères sont étudiés simultanément. Ces estimations permettent ainsi d'interpréter: (1) la direction de la dominance; (2) leur signe, particulièrement celui des termes $[h]$ et $[l]$, la nature des interactions non-alléliques et leur action sur les effets d'hétérozygote.

Mais l'estimation biaisée des paramètres fait que nous préférons la méthode du Joint Scaling test de Cavalli (1952) en lieu et place de celle de Mather and Jinks (1982) et celle de Jinks and Jones (1958) pour les effets des paires de gènes et des interactions non-alléliques. Ce dernier modèle diffère de celui de Hayman (1958) par la reparamétrisation des équations de prédiction des effets des gènes (annexe 3); sa moyenne (m) est estimée, tout comme les termes $[d]$, $[h]$, $[i]$, $[j]$ et $[l]$, à partir des effets moyens combinés des 6 générations, d'où une estimation plus précise et sans biais de ces effets. Il peut également servir de test à l'adéquation au modèle additif des paires de gènes en cause.

⇒ La formule de Castle and Wright (1921), qui donne le nombre de facteurs génétiques impliqués dans l'expression d'un caractère, ne fournit en réalité qu'une approximation du nombre minimal de loci ayant contribué à la réponse du caractère. Malgré l'approximation, cette formule est souvent utilisée (Huet et Ecochard, 1961; Martin, 1967; Leleji et Al., 1972; Kotecha and Zimmerman, 1978; Holbrook et Al., 1989; Haque et Al., 1992).

⇒ Un aspect très important, non pris en compte lors des études génétiques est l'interaction du milieu. Connaissant son importance pour la majorité des caractères d'importance économique pour l'arachide (Mohammed et Al., 1978; Green et Al., 1983; Nigam et Al., 1984; Arrendell et Al., 1988; Arrendell et Al., 1989; Dwivedi et Al., 1990) et chez les autogames en général (Leleji et Al., 1972; Chapman and Hockett, 1976), négliger son action sur les

effets des gènes gouvernant un caractère à effet quantitatif peut s'avérer dangereux.

C'est ainsi que Chapman and Hockett (op. cit.), dans leur étude génétique, conduite dans deux lieux différents, trouvent pour un site une adéquation au modèle d'additivité pour le caractère étudié et des effets additifs et de dominance de même amplitude représentant un comportement simple des paires de gènes gouvernant le caractère. Pour le second site, ils obtiennent des effets d'interaction non-allélique de type additif-additif significativement supérieurs à l'effet additif et de même amplitude que l'effet de dominance d'où une hérédité complexe du caractère. Ainsi, le premier milieu avait de manière significative masqué les effets d'interaction digénique, particulièrement ceux en situation CIS qui vont pourtant conditionner l'amélioration du caractère étudié.

Ce problème d'interaction des effets géniques avec le milieu avait déjà été soulevé par Sprague and Tatum (1942) sur le rendement de lignées de maïs de 5^{ème} génération. Testées dans 2 localités à Iowa (USA), ces lignées ont montré une grande faiblesse de leur variance d'additivité par rapport aux effets épistatiques et de dominance (5 fois moins en moyenne) par contre la seconde localité a fait exprimer les effets additifs de manière supérieure à ceux de la première localité (3 fois plus en moyenne) et de manière égale aux effets épistatiques et de dominance.

⇒ L'étude génétique sur la grosseur des graines gagnerait à être réactualisée, en utilisant un matériel végétal récent et en étudiant dans le même temps la teneur en huile et le rendement en graines par pied. Des informations plus précises et à même de répondre à notre objectif de sélection multicaractère, nous seront fournies. Surtout en ce qui concerne les coefficients de corrélations génétiques additives, les héritabilités *sensu stricto* et l'action d'un milieu contrasté sur les effets des gènes.

Car les résultats de Martin (1967) sur lesquels se base le programme pour les caractères ci-dessus, ne sont pas vraiment confirmés par ceux de Garet (1976) encore moins par ceux de Mohammed et Al. (1978). Pour ces derniers auteurs les effets d'interaction géniques sont significatifs, les héritabilités obtenues par la technique de régression parent-descendants, technique qui permet d'éliminer du numérateur la variance environnementale, la variance d'épistasie de type dominance-dominance et de diminuer de moitié la variance de dominance, sont

très faibles pour le rendement en graines par pied (0,06-0,10), faibles pour la grosseur des graines (0,27-0,18) et pour le rendement au décorticage (0,20-0,05) contre 0,66 et 0,70 pour les deux derniers caractères respectivement pour Martin

2.1.2 A partir de plans diallèles,

L'analyse des plans diallèles a pour principal objet de fournir des informations sur le comportement gamétique de la population, d'où les notions d'aptitude générale à la combinaison et d'aptitude spécifique à la combinaison de Sprague and Tatum (1942). La connaissance des composantes génétiques des caractères à améliorer ou qui leur sont corrélés, permet de décider des critères, de la méthode de sélection et de la population parentale devant participer au processus d'amélioration.

Les méthodes d'analyse sont en fait au nombre de trois principalement: la méthode de Hayman (1954), la méthode de Griffing (1956) et celle de Gardner and Eberhart (1966). Le choix de l'une d'entre elles est basé sur le background génétique de la population en étude, qui devra répondre aux hypothèses de base validant le modèle choisi. Nous allons les discuter très brièvement dans le but de confirmer ou infirmer le choix de la méthode utilisée.

♦ La méthode de Hayman (1954) a comme hypothèses de base sur la structure génétique:

- 1) Comportement diploïde en ségrégation;
- 2) Pas d'effet de réciprocité;
- 3) Action indépendante de gènes;
- 4) Biallélisme;
- 5) Homozygotie des parents;
- 6) Distribution indépendante des gènes chez les parents.

Ces hypothèses sont jugées, par Christie and Shattuck (1992), comme fortes et contraignantes. Baker (1978) trouve peu réalistes, les hypothèses 3 et 6. Car pour avoir des lignées parentales répondant à ces deux hypothèses, il faudrait plusieurs années de panmixie sans sélection afin d'avoir une population de base en équilibre de linkage. Ce qui grèverait considérablement le budget de la sélection et augmenterait les délais de mise à disponibilité de nouvelles variétés.

L'étude de l'action des gènes qui lui est associée, rend cette méthode à tendance graphique, complète et sophistiquée.

Cette méthode a été utilisée par Baker and Verhalen (1973) sur le coton, mais la validation est faite, d'après ces auteurs, à partir d'une autre expérience. D'autres auteurs (Garet, 1976; Quimio and Zapata, 1990) ont utilisé, à la suite d'une analyse diallèle à l'aide d'une autre méthode, la partie concernant le graphe de régression conjointe de la covariance des parents et leurs F1 sur la variance des F1 du parent r commun. Ce graphe mesure l'action et la distribution des gènes dans les lignées parentales. Ces derniers auteurs éprouvent les hypothèses 3, 4 et 6 à partir du test donné par Hayman (1954).

⇒ Cette sophistication et les hypothèses associées, font douter Khalfaoui (1988) de la validité des résultats obtenus. Ce qui nous paraît justifié, car par exemple l'hypothèse 3 est éprouvée selon Hayman (1954) avec deux générations (parentale et F1) alors que le Joint Scaling test par exemple en utilise 6.

Le nombre minimal de parents est de dix, ce qui constitue une autre contrainte. Un nombre inférieur biaise les estimations des effets génétiques (Christie and Shattuck, 1992).

• La méthode de Griffing (1956) est un groupe de 4 plans plus ou moins complets analysables selon deux modèles d'échantillonnage de la population parentale. L'aléatoire, qui donne accès à la variance des effets génétiques; le fixé, où l'on a une fonction croissante pour l'estimation des paramètres génétiques. Ses différentes possibilités d'utilisation font qu'elle est la plus usitée. Mais elle ne se limite qu'aux effets d'AGC et d'ASC dans le cas des demi-diallèles comme l'illustrent les résultats de Wynne et Al. (1970), Wynne et Al. (1975), Wynne (1976), Singh and Paroda (1984), Michaels (1988), Holbrook (1990), Singh et Al. (1992), avec en plus les effets de réciprocité pour le cas des plans plus complets (Garet, 1976; Ahmadi, 1983; Quimio and Zapata, 1990). C'est la raison pour laquelle, certains auteurs combinent l'analyse du modèle aléatoire du plan complet de Griffing, avec l'analyse par régression conjointe de Hayman.

⇒ Avec ce modèle, deux de ses situations utilisent la diagonale pour représenter les parents, ce qui perturbe considérablement les effets d'aptitudes à la combinaison, surtout en présence d'effets d'inbreeding. Et ce que nous recherchons dans ces analyses diallèles, c'est plutôt la valeur d'un allèle en combinaison avec un autre allèle différent, que sa combinaison avec lui même.

Egalement tous les effets génétiques non-additifs sont globalisés dans l'ASC, surtout avec les plans 1 et 2. Cela ne contribue pas à l'appréciation des composantes des effets non-additifs, dont certaines peuvent être importantes chez l'arachide. Ainsi pour obtenir l'effet génétique additif-additif, Holbrook (1990) propose de travailler avec la génération F3.

Il a été judicieux de ne pas retenir la méthode de Griffing dans cette étude vu le manque d'information génétique chez l'arachide quant aux caractères en étude d'une part et sur la valeur en combinaison des parents à retenir comme géniteurs dans le processus de sélection récurrente d'autre part.

• La méthode de Gardner and Eberhart (1966), qui introduit de manière adéquate les parents dans l'analyse, décompose :

- Les effets génétiques en effets d'AGC et d'ASC par l'analyse III de la même manière que le plan 4, modèle fixe de Griffing, pour prédire la valeur de la descendance;

- Les effets génétiques non-additifs en effets d'hétérosis spécifique, variétal et moyen, à l'aide de l'analyse II, pour ensuite prédire la valeur variétale. Il n'y a pas d'hypothèse sur la population parentale et le nombre minimal de parents est de 4.

La décomposition des effets d'hétérosis confère à cette méthode sa supériorité sur les méthodes précédentes, car cela permet aussi d'apprécier la diversité génétique de la population parentale qui a une grande importance dans le cas d'une sélection récurrente.

Les autres avantages de cette méthode combinée sont :

- 1) Homozygotie ou hétérozygotie des parents;
- 2) Effets génétiques clairement identifiés;
- 3) Valeur variétale et valeur de la descendance prédites;
- 4) Meilleure corrélation entre valeur propre et valeur en combinaison;
- 5) Estimation des effets additifs et additifs-additifs des gènes.

⇒ Bien qu'elle soit peu employée (Johnson, 1973; 1974; Misevic et Al., 1989; Ulrich et Al., 1990), cette méthode donne, sans hypothèses fortes, un plus grand nombre d'informations génétiques intéressantes, importantes pour l'espèce étudiée et pour la méthode de sélection retenue.

⇒ Pour les études à venir, à partir du modèle de Gardner and Eberhart (1966), le dispositif devra être mis en multilocale malgré la contrainte en

semences disponibles, car plusieurs auteurs (Sprague and Tatum, 1942; Baker and Verhalen, 1973; Wynne et Al., 1975; Wynne, 1976; Michaels, 1988; Misevic et Al., 1989; Holbrook, 1990; Singh et Al., 1992) ont montré le fort biais qui s'introduisait dans les estimées suite à la non prise en compte de l'interaction du milieu et plus particulièrement, pour les caractères agronomiques, quand les estimations sont faites sur la génération F1 d'une légumineuse. Gallais (1992, comm. pers.) propose de travailler également sur les générations F2 et F3.

⇒ A partir de cette revue bibliographique des études génétiques (Generation means et analyse diallèle) conduites en multilocale, on pourrait se poser des questions sur la stabilité de l'effet génique additif de certains caractères. Conséquemment, sur le milieu de sélection à adopter, pour réaliser une sélection efficace pour une adaptabilité générale ?

2.2 Des méthodes de sélection,

2.2.1 Sélection oligogénique,

⇒ La méthode du back-cross est quasiment toujours utilisée quand l'amélioration porte sur un caractère unique et quand l'hérédité de ce caractère est relativement simple. Mais cette relative simplicité de la méthode peut être altérée par un linkage entre le caractère à améliorer et un caractère non désiré et/ou par des effets génétiques mal estimés.

Ainsi la présence d'hétérosis notée dans les croisements inter-subspécifiques (Garet, op cit.; Wynne et Al., 1970; Mohammed et Al., op cit.) et la faiblesse des héritabilités *sensu stricto*, de certains caractères agronomiques chez l'arachide indiquant la présence d'effets non-additifs significatifs, compliquent la sélection plus que nous nous y attendions et la rend aléatoire dans le cas d'une sélection pedigree trop précoce sur ces critères. C'est le cas de la lignée fixée GC8-35 et la variabilité observée sur le poids de 100 graines (27,6-35,7 grammes).

2.2.2 Sélection récurrente,

♦ Par rapport à un croisement simple, l'amélioration d'une population par sélection récurrente peut offrir, du fait de l'élargissement de la base génétique,

une augmentation de la fréquence des crossing-over et donc un plus grand nombre de liaisons en couplage. Ce qui a pour résultat une probabilité élevée de mise au point du génotype recherché. Mais la réussite de cet objectif passe par l'utilisation du système de test approprié et du meilleur opérateur test qui soit et par une gestion rigoureuse de la variabilité génétique qui bien entendu décroît à chaque cycle de sélection.

⇒ De cette étude il ressort que le système de test est bon, car la valeur en autofécondation permet un éclatement de la variabilité potentielle et l'estimation de la corrélation entre la valeur en test et la valeur en lignées.

Le passage de la génération S1 à la génération S2 que nous allons préconiser permet l'utilisation d'un meilleur opérateur test et la prédiction de la valeur en lignées de la population. Ce passage est réalisé suite à une sélection sur index monogénération individu dans famille, dans lequel toutes les origines sont conservées. Cela permet de fournir également des semences aux partenaires de l'institut pour une extraction de variétés.

⇒ Les faiblesses du schéma utilisé viennent de l'utilisation de deux sites indépendants de sélection, qui plus est, en condition hydrique optimale pour les paramètres de productivité; de l'échantillonnage de la population. Ainsi:

(1) Comment prédire les valeurs des facteurs physiologiques d'adaptation et de productivité en condition limitante à partir de ceux du rendement potentiel, quand on n'a ni les valeurs des facteurs physiologiques d'adaptation ni celles de productivité en condition limitante pour un même groupe de génotypes ?

(2) Quelle est l'amplitude de la variation génétique qui est transmise du milieu favorable à un milieu limitant ?

Autrement dit, quels sont les paramètres génétiques qui ont permis de valider l'hypothèse selon laquelle la sélection pour un potentiel peut être généralisée à un milieu stressé ?

Il est évident que des "gènes de rendement" à effet génétique direct n'existent pas, mais plutôt un processus physiologique et biochimique complexe, sous contrôle génétique, agissant au niveau de la plante entière (Blum, 1988).

Ainsi, il ne s'agit donc pas d'introduire un groupe de gènes pour que cela fonctionne. Pour la simple raison qu'il existe des interactions alléliques non-

homologues de type dominance-dominance ou additif-dominance qui peuvent l'en empêcher et des interactions géniques pouvant résulter du pléiotropisme au niveau de l'effet primaire d'un des gènes. Ce qui montre les limites du schéma utilisé jusqu'alors.

D'autre part, il n'est pas certain que le portrait robot fourni par l'étude physiologique puisse être réalisable génétiquement, il n'a dans un premier temps qu'une valeur prospective. C'est ce que l'on a vu avec la réduction de la surface foliaire qui entraîne des effets négatifs sur bien d'autres facteurs corrélés ou non au rendement (Fall, 1992). Ce n'est donc pas en expérimentant pour un potentiel agronomique et/ou avec des génotypes différents que ceux utilisés pour l'évaluation des facteurs adaptatifs, que l'on détectera ces effets secondaires.

⇒ - Schéma de sélection convergente-divergente (Khalifaoui, 1990c). Des réserves sont émises quant à l'utilisation de ce concept que nous devons à Lonquist (1979) pour une sélection stabilisante. Car tel que pratiqué, ce schéma s'éloigne de celui de Lonquist proprement dit: - In subsequent years, harvested samples sent to Wisconsin (the convergent phase) were subdivided and redistributed (divergence) in such a way that seed for each location did not include seed harvested from that location the previous year.

En considérant le système champ-serre comme deux localités, il s'en suit que seule la sous-population mise en serre ira en évaluation plein champ l'année suivante après intercroisements avec une sous-population différente de celle qui était mise en champ précédemment ?

Donc le nombre de localités utilisé jusqu'à présent (2), ne peut permettre une sélection convergente-divergente.

⇒ La poursuite de l'utilisation du plan de croisement pyramidal est ruineuse pour la variabilité si l'on veut poursuivre la sélection récurrente, car pour avoir une durée raisonnable du cycle de sélection, elle oblige à ne sélectionner que huit individus-géniteurs, soit un taux de sélection de 0,4% (ou 4‰). Ce qui représente le taux le plus faible, car comme stipulé dans une revue bibliographique sur la sélection récurrente chez les autogames, Kervella et Al. (1991) montrent que pour un taux de 1,6% Busch and Kofoid (1982) ont retenu, sur le blé, au moins 20 individus.

Le plan de croisement pyramidal possède deux contraintes majeures qui sont: (1) la formule qui fixe le nombre de géniteurs (2^n ; $n=2, 3, \dots$) et (2) le lien existant entre le nombre de géniteurs et la durée de l'opération d'intercroisements.

Selon Eberhart (1970; cité par Gallais, 1977b) différents résultats expérimentaux de sélection sur descendance indiquent qu'en retenant de 20 à 40 individus pour initier le cycle suivant, il y a un assez bon accord entre les progrès génétiques attendus et ceux réalisés après plusieurs cycles de sélection.

En se situant dans cette norme avec 32 géniteurs, l'opération d'intercroisements selon un plan pyramidal prendrait 5 années. Ce qui conduit à un cycle de sélection d'une durée de 8 ans. Afin de poursuivre la sélection récurrente de manière efficiente et avec suffisamment de variabilité, nous proposons pour l'intercroisement un plan " diallèle troué " pour respecter les cytoplasmes. Avec ce nouveau plan qui nous rapproche le plus de la panmixie : (1) le nombre de géniteurs devant être compris entre 20 et 40 n'est pas unique et donc ne perturbe pas le point de troncature; (2) la durée de l'opération d'intercroisements est d'une année seulement.

2.2.3 Sélection pedigree,

• Malgré un progrès génétique de 13% il est apparu que les lignées tirées du premier cycle de sélection sont en tous points inférieures à la variété Fleur 11. Le résultat en est que:

(1) Quelque soit l'hérédité des caractères recherchés dans ce programme, leur nombre et leur nature polygénique suffisent à montrer qu'un seul cycle d'intercroisements ne peut réunir le maximum d'allèles en couplage pour chacun des caractères de l'idéotype.

(2) L'évaluation conduite uniquement sur les structures hétérozygotes que sont les familles S1 (la S0 étant conduite en dérobée), ne peut conduire à une prédiction de la valeur en lignées dérivables de la population. Ainsi c'est le résultat de la sélection généalogique qui montre qu'une grande part du progrès attendu n'a pu être fixée.

Aussi à mon sens, la nature biologique du progrès fut mal considérée, car très probablement issue d'un phénomène d'hétérosis non fixable lié à la nature inter-subspécifique des croisements entre fondateurs que les différentes études

génétiques déjà citées ont révélé. Les travaux de Halward and Wynne (1992) sur *Arachis hypogaea* montrent également que le progrès génétique après 4 cycles de sélection récurrente sur le rendement et ses composantes est faible. Même en l'attribuant à la faible intensité de sélection pratiquée, on peut conclure que l'amélioration rapide et significative des caractères économiques chez l'arachide n'est pas évidente mais exige plutôt la mise en oeuvre patiente d'une méthodologie optimale de sélection.

3. PERSPECTIVES d'AMÉLIORATION du SCHÉMA.

Les notions d'adaptation et d'adaptabilité nous viennent de la correspondance qui doit exister entre le génotype total et les facteurs complexes et variables du milieu. Et pour paraphraser Darwin (1859), ce n'est pas celui qui aura résisté au stress jusqu'à l'âge adulte qui sera le mieux adapté mais plutôt, le plus prolifique. C'est cette adaptabilité avec ses deux composantes que sont: le maintien jusqu'à l'âge adulte et la production de descendants dans un environnement contraignant mais variable qui guidera notre approche.

Sachant que le compromis qui existe entre les différents caractères dans le génotype total est fourni par le phénotype (l'organisme et les autres caractères simultanément affectés par le milieu) corrélativement aux facteurs sélectifs du milieu. La création d'un pool génique à bon potentiel d'adaptation et à bonne productivité (ou performance du caractère), malgré la difficulté qu'il y aurait à concilier ces deux critères, ne se fera tout de même, que suite à la caractérisation de la *norme de réaction* des génotypes au travers des milieux différents. Car du point de vue évolutif, rien ne permet de dire que la performance d'un caractère dans un milieu et sa plasticité appartiennent à un même linkat, que ces deux critères se soient développés simultanément.

C'est donc cet opérateur test qui permettra de répondre aux nombreuses questions que l'on se pose sur l'organisation et l'expression de la diversité génétique au niveau populationnel mais également ou plutôt surtout, sur les bases génétiques de cette adaptabilité - linkage ou pléiotropie des gènes gouvernant les différents facteurs d'adaptation c'est à dire dynamique de la balance interne, ou bien épistasie des gènes; sur quels facteurs ? D'autre part, sur les composantes du rendement biologique en condition de sécheresse.

Cette nécessaire identification des facteurs d'adaptation associés aux bons rendements sous condition de sécheresse, a été bien discutée par Clarke (1987), Acevedo and Ceccarelli (1989), Bidinger and Witcombe (1989), Acevedo (1991), Ceccarelli et Al. (1992). De même, Blum (1988) propose la multilocalité (stress et non-stress) en plein champ pour l'évaluation des génotypes dans le cas d'une adaptation à la sécheresse c'est à dire à un environnement complexe.

A partir de cette identification, la sélection va pouvoir faire prendre à la population, sans gros risque, une direction telle que l'on ait : (1) une variance génétique en condition de stress hydrique supérieure à celle en condition non-limitante; (2) une corrélation génétique positive entre ces deux milieux pour la variable rendement en gousses.

⇒ Cette conception qui fonde notre stratégie de sélection, pour une efficacité accrue de notre schéma, est basée sur la maximisation du progrès génétique attendu et des chances de réussite. Elle permet d'appliquer les méthodes de sélection multicaractère à la sélection multisite, gage d'une sélection efficiente. Du fait que la réponse à la sélection sur la plasticité d'un caractère est partiellement ou totalement indépendante de la réponse à la sélection sur la performance du caractère (Scheiner and Lyman, 1991).

La non adoption de cette hypothèse d'indépendance des deux réponses conduit le sélectionneur à travailler le potentiel agronomique d'une variété, pour ensuite tester, dans un dispositif multilocal et/ou pluriannuel, sa plasticité quand tout est fixé. C'est à dire quand il n'y a plus de variation génétique additive pour la plasticité!?

Le modèle de Yamada (1962) de décomposition de la variance d'interaction génotype-milieu en :

- (1) part due aux différences de variances selon le lieu (interaction quantitative),
- (2) part due au manque de corrélation génétique inter-lieux (interaction qualitative),

est utilisé du fait de l'importance de la seconde partie de cette variance en amélioration génétique. Les coefficients de corrélations environnementales et génétiques qui en sont issus, voient leur précision donnée par leur variance d'échantillonnage selon la formule de Scheinberg (1966) (annexe 4) et leur stabilité éprouvée par la méthode de Kullback (1967). Le second paramètre à

optimiser est l'héritabilité du système de test, éprouvée selon la méthode de Knapp et Al. (1985). Le but est d'optimiser le progrès génétique sur chacun des caractères pris en compte dans le processus de sélection, pour une adaptabilité générale.

Ces deux critères, qui permettent une généralisation rigoureuse à d'autres milieux, des géotypes sélectionnés, ont été utilisés par de nombreux auteurs en sélection multisite : Yamada, 1962; Johnson and Frey, 1967; Byth et Al., 1969; Allen et Al., 1978; Burdon, 1979; Hamblin et Al., 1980; Shabana et Al., 1980; Rosielle and Hamblin, 1981; Fox and Rosielle, 1982; Vincourt et Gallais, 1983; Vincourt et Al., 1984; Wong and Baker, 1986; Yamada et Al., 1988; Atlin and Frey, 1989; Brabant et Al., 1989; Ceccarelli, 1989; Hadjichristodoulou, 1989; Itoh and Yamada, 1990; Ceccarelli et Al., 1991; Gallais, 1991; Yang and Baker, 1991; Braun et Al., 1992; Ceccarelli et Al., 1992; Zavala-García et Al., 1992; Gavrilets and Scheiner, 1993a; Gavrilets and Scheiner, 1993b.

Cette étude de la nature de l'interaction du milieu avant toute sélection sur un caractère à effet quantitatif, nous avait déjà été proposée par Frey (1959), dans le but d'augmenter les chances de réussite.

MÉTHODOLOGIE

DE LA STRATÉGIE

D'AMÉLIORATION

III. LES MÉTHODES DE SÉLECTION MULTICARACTÈRE.

La supériorité d'une sélection basée sur plusieurs caractères n'est plus à démontrer car utilisée par un grand nombre d'auteurs dont nous ne citons que quelques-uns (Smith, 1936; Gallais, 1973; Grafius, 1978; Lawrence, 1981; Baker, 1986; Manes, 1986; Pradhu et Al., 1990; Mishra et Al., 1991; Fall, 1992; Nagabhushanam and Prasad, 1992; Dolan and Stuthman, 1993). Cette supériorité est soutendue par le fait que, nonobstant le gain d'information qu'apporte les différents caractères, la sélection sur un caractère unique entraîne une perte de variabilité sur les autres caractères, d'autant plus forte que les héritabilités, les corrélations génotypiques et phénotypiques et les intensités de sélection sont fortes. Cette perte inévitable, n'est pas nécessairement compensée par une liaison positive. Elle se produit même quand les caractères sont indépendants, par dérive génétique. Seule une sélection simultanée de l'ensemble des caractères permet de l'éviter.

Les méthodes de sélection multicaractère, selon Hazel and Lush (1942), sont au nombre de trois :

- (1) La sélection tandem, où un caractère est amélioré, au cycle suivant commence celle du second caractère à partir de la population améliorée, ainsi de suite pour les autres caractères.
- (2) La sélection par niveaux indépendants, on se propose des seuils pour les différents caractères. Les génotypes pour lesquels la valeur du caractère n'atteint pas le seuil fixé, sont éliminés de la population.
- (3) La sélection par index, est une combinaison linéaire des valeurs pondérées des différents caractères à améliorer, dans une population normale.

La comparaison de l'efficacité relative de ces trois méthodes dépend: du nombre de caractères retenus, de leur héritabilité, des corrélations génotypiques et phénotypiques, de l'intensité de sélection et de la valeur économique des différents caractères (Young, 1961; Gallais, 1973).

Le peu d'auteurs qui ont eu à réaliser cette comparaison, concluent tous, toutes choses étant égales et/ou les caractères indépendants, à la supériorité

de la sélection par index, suivie de la sélection par niveaux indépendants (Hazel and Lush, 1942; Young, 1961; Elgin et Al., 1970; Gallais, 1973; Eagles and Frey, 1974; Dolan and Stuthman, op cit.) .

Cela est d'autant plus vraie qu'un cycle en sélection tandem, prend au moins, autant de temps qu'il y a de caractères à améliorer. Avec les niveaux indépendants, il peut exister une déconnexion entre le seuil de sélection fixé et l'effectif à conserver pour chacun des caractères.

La supériorité des deux méthodes sur la sélection tandem est également manifeste, quand les caractères sont négativement corrélés (Pesek and Baker, 1969).

Du fait de sa supériorité, la sélection par index est très largement la plus usitée, surtout quand il s'agit d'un index basé sur plusieurs caractères pour l'amélioration d'un caractère quantitatif à hérabilité faible (cas du rendement et des caractères morpho-agronomiques qui lui sont associés). Améliorant ce dernier, mieux que ne le ferait une sélection directe sur le caractère (Singh et Al., 1977; Lawrence, 1981; Allen and Panter, 1990; Dolan and Stuthman, 1993).

Elle est la seule en sélection multilocale, qui valorise au mieux l'information apportée par les matrices de variance-covariance génotypiques et phénotypiques. Car en sélection par niveaux, si les localités sont en corrélations négatives, les familles retenues ne seront que moyennes dans les différentes localités. Alors que l'index sélectionne dans cette situation, les individus très bons dans une localité et moyens dans l'autre .

IV. OPTIMISATION PAR APPLICATION DE LA THÉORIE DES INDEX DE SÉLECTION.

I. L'IDENTIFICATION PLURIDISCIPLINAIRE des CRITÈRES AGRO-PHYSIOLOGIQUES.

L'étude approfondie de la structure des variables a pour but de bien connaître la nature des différents critères de sélection utilisables (en terme d'inter-relations), de donner une interprétation biologique aux paramètres de stabilité et de sortir les principaux déterminants de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. Pour ce faire, deux méthodes sont à notre disposition :

♦ La méthode des path-coefficients, que nous devons à Sewal Wright (1934) est, depuis longtemps utilisée en amélioration : (Dewey and Lu (1959) pour la sélection du blé fourrage; Duarte and Adams (1972) sur *Phaseolus vulgaris*, pour l'étude des composantes du rendement; Sidwell et Al. (1976) sur *Triticum aestivum*, où l'analyse des path réalisée aux niveaux phénotypique et génotypique sur les caractères d'architecture du plant, du rendement en grains et de ses composantes, a permis de réduire qualitativement le nombre de caractères en sélection et surtout de sortir du schéma de sélection précoce, les caractères à effets génétiques non-additifs dominants et/ou à effet environnemental important; Das (1978) sur *Phaseolus mungo*, pour l'étude des composantes du rendement en prélude au développement d'un index de sélection; Hamid and Grafius (1978) sur *Hordeum vulgare*, pour l'étude des relations entre le développement embryonnaire des caractères morpho-agronomiques et le rendement en grains; Nigam et Al. (1984) sur *Arachis hypogaea*, pour l'étude des relations entre l'architecture du plant et les composantes du rendement.

Les travaux menés avec la méthode des path, confirment l'importance d'une prise en compte simultanée des caractères en sélection. Mais le path-coefficient n'est qu'un coefficient de régression partiel standardisé. C'est la raison pour laquelle nous lui préférons la seconde méthode plus complète et plus utilisée

• Les méthodes d'analyses multidimensionnelles permettent : (1) une approche beaucoup plus fine des inter-relations entre variables, du point de vue de leur nature et de leur nombre et (2) une analyse et une visualisation sophistiquée de la structure de la variabilité génétique existante au niveau des populations, pour une gestion optimale de ces dernières.

La nécessité, pour une sélection comprenant un grand nombre de caractères et l'efficacité de ces méthodes comme outil de compréhension et d'aide à la décision ainsi que nous allons les utiliser, ont été démontrées par maints auteurs : Rouvier (1966) sur *Gallus domesticus*, pour l'amélioration des paramètres de la taille et du poids; Walton (1972) sur *Triticum aestivum*, pour l'étude des composantes du rendement et le callage des cycles de développement; Denis and Adams (1978) sur *Phaseolus vulgaris*, pour l'étude des composantes du rendement et l'architecture du plant qui leur est corrélée; Arrendell et Al. (1989) sur *Arachis hypogaea*, pour l'amélioration de la fixation de l'azote atmosphérique sur un croisement Virginia x Spanish; Martinez et Al. (1991) sur *Helianthus annuus*, pour l'adaptation physiologique à la sécheresse en prélude à la mise au point d'un index de sélection; Ranalli et Al. (1991) sur *Phaseolus vulgaris*, pour l'étude des composantes du rendement en prélude au développement d'un index de sélection; Acquaaah et Al. (1992) sur *Phaseolus vulgaris*, pour la définition de l'architecture du plant en relation avec les dimensions des graines, en vue de l'amélioration de l'efficacité de la sélection récurrente pratiquée; Fall (1992) sur *Arachis hypogaea*, pour l'adaptation physiologique à la sécheresse en prélude au développement d'un index de sélection; Lançon et Al. (1992a; b) sur *Gossypium hirsutum*, pour l'étude des caractéristiques des localités et des lignées parentales en vue d'une étude génétique; Annicchiarico and Pecetti (1993) sur *Triticum turgidum* var *durum*, pour l'adaptation physiologique à la sécheresse.

1.1 Identification des idéotypes de sélection et recherche de variables opérationnelles,

⇒ L'identification des idéotypes de sélection est faite à l'aide des composantes principales dont la construction qualitative entraîne une diminution de l'espace de l'hyperplan que composent les variables. L'analyse est réalisée sur les matrices des coefficients de corrélations génétiques intra-lieu puis sur celle en inter-lieux. Les facteurs retenus, selon le critère de Kaiser (1958), ont une

signification biologique avec le maximum d'informations données par la structure des corrélations. Ces axes contiennent le maximum de variance que peut décrire le nuage de points. Ils deviennent donc nos nouveaux critères et leur combinaison idéale, pour chacun des trois types d'opérateur test (agronomique, physiologique et agro-physiologique), fournit les trois groupes de critères selon le milieu.

Dans un second temps, pour obtenir les paramètres du modèle de Yamada (1962), l'analyse en composante est faite sur la matrice des coefficients de corrélations environnementales et génétiques. Le résultat obtenu nous permet d'interpréter l'action du milieu sur l'expression des gènes. Autrement dit cela nous donne les bases génétiques de l'adaptation.

La comparaison des différents groupes de critères retenus lors de chaque cycle de sélection et appartenant au même type d'opérateur test, montrent le devenir des liens entre les différents caractères dans les situations génétiques créées après les opérations d'intercroisements.

⇒ La recherche de variables opérationnelles ou recherche de prédicteurs linéaires, permet de hiérarchiser les différents caractères dans l'idéotype. Les informations obtenues sur le modèle de prédiction, sont de deux ordres : la mobilité des caractères et leur dépendance vis-à-vis du groupe de critères (Fall, 1992).

La procédure employée est celle de la " Forward Regression " qui choisit ses variables de proche en proche, en assurant chaque fois le minimum de variance résiduelle.

Cette recherche de prédicteurs linéaires vient, du point de vue de notre démarche après la composante principale qui est à même de réduire le biais introduit par les redondances dans la régression progressive. Biais qui conduit à l'établissement de mauvais prédicteurs linéaires du fait de l'instabilité de leur coefficient de régression reflétée par de grandes variances d'erreurs.

1.2 Identification de la structure canonique des groupes de critères,

L'analyse des corrélations canoniques recherche, à partir de deux groupes de critères, les combinaisons linéaires appelées variables canoniques, qui maximisent la corrélation entre les variables canoniques prises deux à deux. Les variables canoniques sont choisies pour être non corrélées dans les groupes qu'elles créent. Ce sont donc les caractères issus de deux groupes de critères et définissant les meilleures variables canoniques qui entreront dans l'index de sélection.

A l'issue de cette analyse, on visualise le nuage de points avec les plus importantes variates canoniques comme coordonnées. C'est une analyse robuste, qui évite le biais que l'on a en analyse de régression en présence de paires de régresseurs fortement corrélées (Campbell, 1980).

1.3 Identification des groupes de performances,

Les coordonnées du nuage de points à partir des composantes principales, permettent d'avoir des groupes de proximité entre génotypes selon le régime hydrique.

⇒ L'analyse précédente a permis de retenir les caractères significatifs devant entrer dans l'analyse de classification non-hiérarchique dans le but de discriminer le mieux possible nos génotypes. De cette analyse des "Nuées Dynamiques", qui structure la variabilité génétique en "formes fortes", définissant des groupes de similitudes après validation par la méthode de Lachenbruch (1968) des différentes formes fortes issues des itérations, sort les groupes de performance selon le régime hydrique. La distance utilisée est la D^2 généralisée de Mahalanobis (Dagnélie and Merckx, 1991).

La même procédure est utilisée pour éprouver une structure de "groupe de cytoplasmes". Afin de voir si un des quatre cytoplasmes de la population parentale confère une supériorité pour le potentiel de rendement et si cette supériorité se maintient dans une situation de stress hydrique ?

⇒ Les lignées parentales introduites dans notre expérimentation, dont les valeurs ne sont pas prises en compte dans la formation des axes, permettent de comparer la distance génétique entre les performances parentales et les

groupes de similitudes issus de la population source d'une part et entre ces mêmes performances parentales et les groupes de similitudes issus de la population tampon d'autre part. Cette analyse des proximités permet de mieux répondre aux questions concernant l'évolution de la variabilité génétique, après les différents cycles de sélection récurrente pour une injection raisonnée de variabilité nouvelle

⇒ Ainsi fait, cette approche pluridisciplinaire permet d'atténuer le poids d'une variable de l'idéotype physiologique, mais également pour des raisons d'optimum économique, de choisir de manière qualitative les critères qui coûtent moins cher à l'évaluation biométrique que le critère principal dont on peut donner une prédiction du fait de sa liaison avec d'autres critères mesurés. Cette approche met également en jeu les interactions de la population génétique avec son milieu (en termes de diversité) pour une compréhension précise des bases génétiques de l'adaptation afin de choisir à l'aide de paramètres le milieu optimal de sélection.

⇒ L'utilisation dans cette approche des combinaisons géniques synergiques créées par les interactions de type épistatique additives-additives comme source de gènes d'adaptation (ou potentiel d'adaptation) révélables par marquage moléculaire, nous conduit à une analyse de la structure génétique de trois populations d'arachide composées de lignées issues de SR1 et de SR2 et de six lignées exotiques appartenant aux trois types botaniques: *ssp hypogaea* var. *hypogaea*, *ssp fastigiata* var. *fastigiata* et *ssp fastigiata* var. *vulgaris*.

Cette étude, par génie génétique, a pour objet: (1) de confirmer ou non la mise en place et l'exploitation, à un niveau individuel, des complexes épistatiques additifs-additifs fixables comme bases génétiques de l'adaptation à un milieu physique variable; (2) de connaître les distances génétiques au sens de NEI afin de mieux structurer la diversité génétique présente dans le schéma de sélection. Les outils méthodologiques à utiliser sont la Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) et la Variable Number of Tandem Repeat (VNTR).

2. MODÈLES MATHÉMATIQUES.

2.1 Avec prise en compte de l'interaction du milieu,

La prise en compte de l'interaction génotype-milieu, sur un dispositif randomisé en bloc, conduit à l'estimation d'un grand nombre de paramètres du fait de la hiérarchisation des facteurs, particulièrement en sélection combinée individu-famille avec ses deux niveaux de variabilité.

L'analyse multivariée de variance est faite à partir de la procédure GLM de SAS (Statistical Analysis System). L'analyse est réalisée auparavant sur les différents modèles en intra-lieu afin de tester l'homoscédasticité des carrés moyens résiduels; puis en inter-lieux pour tester l'homoscédasticité des variances d'interaction pour les différents milieux et les différents génotypes (Eberhart and Russel, 1966). Variance d'interaction qui diminue la part de la variance génétique de la variance phénotypique .

Modèle Familial .

$$M1: P_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{ji} + \varphi_k + (\alpha\varphi)_{ik} + (\beta\varphi)_{(ji)k} + \varepsilon_{ijkl}$$

α_i : effet lieux

β_{ji} : effet blocs/lieu

φ_k : effet familles

ε_{ijk} : erreur cumulée .

$(\alpha\varphi)_{ik}$: interaction famille-lieu

$(\beta\varphi)_{(ji)k}$: interaction famille-bloc

Modèle Individu-Famille .

$$M2: P_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_{ji} + \varphi_k + (\alpha\varphi)_{ik} + (\beta\varphi)_{(ji)k} + \delta_{lk} + (\alpha\delta)_{i(l)k} + \varepsilon_{ijkl}$$

α_i : effet lieux

β_{ji} : effet blocs/lieu

φ_k : effet familles

δ_{lk} : effet individus/famille

ε_{ijkl} : erreur cumulée .

$(\alpha\varphi)_{ik}$: interaction famille-lieu

$(\beta\varphi)_{(ji)k}$: interaction famille-bloc

$(\alpha\delta)_{i(l)k}$: interaction individu-lieu

⇒ Ce modèle fournit les informations sur l'amplitude de l'interaction et celle de la variance génétique de chacun des caractères. C'est ce modèle qui nous permet de répondre aux questions sur la variation génétique qui est transmise d'un

lieu à un autre pour une généralisation de la sélection. Autrement dit, c'est lui qui nous permet de choisir le milieu optimal de sélection pour l'arachide.

Et pour éprouver l'effet groupe de cytoplasmes :

$$M3: P_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_{ji} + \lambda_k + (\alpha\lambda)_{ik} + (\beta\lambda)_{(ji)k} + \varphi_{ijk} + \delta_{m|ik} + (\alpha\varphi)_{il} + (\alpha\delta)_{im} + \varepsilon_{ijklm}$$

α_i : effet lieux

β_{ji} : effet blocs/lieu

λ_k : effet groupe

φ_{ijk} : effet familles/groupe

δ_{ijk} : effet individus/famille

ε_{ijklm} : erreur cumulée .

$(\alpha\lambda)_{ik}$: interaction groupe-lieu

$(\beta\lambda)_{jk}$: interaction groupe-bloc

$(\alpha\varphi)_{il}$: interaction famille-lieu

$(\alpha\delta)_{ik}$: interaction individu-lieu

2.2 Sans l'interaction du milieu,

Dans ce cas l'analyse est simplifiée par la considération des lieux comme des caractères distincts dans un lieu (Falconer, 1961; Burdon, 1979; Vincourt and Gallais, 1983). La prise en compte de l'interaction du milieu est systématique mais non modélisée, il n'y a donc pas à tester l'homoscédasticité de carrés moyens résiduels. La stabilité nous est fournie par l'analyse de la matrice des coefficients de corrélations génétiques inter-lieux selon Kullback (1967). Cette méthode contribue selon Falconer (1961) à augmenter la précision dans la prédiction du progrès génétique attendu. C'est donc ce modèle qui permet l'exploitation lors de la sélection des corrélations génétiques inter-lieux comme nous le verrons dans l'évaluation BLUP.

L'hypothèse fondamentale est que les variables appartiennent toutes à une distribution normale.

Les modèles Familial et Individual considérés, sont linéaires mixtes :

$$P_{ij} = \mu + \beta_j + \varphi_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{et} \quad P_{ijk} = \mu + \beta_j + \varphi_i + \delta_{ki} + \varepsilon_{ijk}$$

β_j : effet bloc fixé

φ_i : effet famille centré, aléatoire

$(\beta\varphi)_{ik}$: interaction famille-bloc, aléatoire

ε_{ij} : erreur centrée, aléatoire .

et de plus δ_{ki} : effet individus/famille centré, aléatoire pour "l'Individual" .

L'analyse de variance est faite selon la méthode de Henderson III (1963), en situation multivariable. Le modèle en écriture matricielle devient :

$$P = X\beta + ZU + \varepsilon$$

X est la matrice d'incidence des effets fixes (lieu, bloc, moyenne de la population)

Z est la matrice d'incidence des effets aléatoires (famille, individu), elle dépend du dispositif et des relations de parenté entre les unités génétiques testés

β est le vecteur colonne des effets fixes

U est le vecteur colonne des effets aléatoires

ε est le vecteur aléatoire des erreurs résiduelles

3. Les ESTIMATEURS des COMPOSANTES de la COVARIANCE.

Si le choix de l'estimateur est important, il n'en demeure pas moins que le nombre de familles en expérimentation l'est encore plus. Des travaux ont montré, dont celui de Dudley and Moll. (1969) sur *Zea mays* pour l'amélioration du rendement, que pas moins de 256 familles sont nécessaires et déroulées dans au moins deux sites ou deux années, pour avoir une estimation correcte des variances-covariances génétiques.

3.1 Environnementale,

Les estimations des composantes de la covariance environnementale nous sont fournies, suite aux analyses de variance et de covariance sur les lignées parentales introduites dans l'expérimentation.

3.2 Génétique et résiduelle,

⇒ Dans le cas des modèles M1 et M2, les estimateurs sont obtenus par la procédure VARCOMP de SAS, en utilisant la méthode du Maximum de Vraisemblance, qui donne des estimateurs plus robustes que ceux de la méthode des carrés moyens du Manova type I (Bouchez, 1988; Liu and Knapp, 1990; Doligez, 1992). De plus, cette procédure fournit parallèlement la matrice de variance-covariance asymptotique des estimateurs.

⇒ La méthode de Henderson III fournit les matrices de variance-covariance génétique et résiduelle (Σ_{UP} et $\Sigma_{\epsilon\epsilon}$), puis on reconstitue la matrice de variance-covariance phénotypique (Σ_{PP}). Ses estimateurs sont sans biais et de variance minimum, plus connus sous le nom de BLUE (Best Linear Unbiased Estimation).

4. MODÉLISATION de la VALEUR GÉNÉTIQUE ADDITIVE .

4.1 La covariance Parent-Offspring,

L'utilisation de la régression parent-offspring, pour le calcul de l'héritabilité permet, sans avoir à calculer la variance des différents effets génétiques qui nécessite un dispositif de croisements compliqué et lourd, d'accéder à une estimation de l'héritabilité *sensu stricto* (h^2_s), indispensable du fait de la valeur variétale choisie -où seuls les effets génétiques additifs et additif-additif nous intéressent.

Plusieurs auteurs l'ont utilisé (Frey and Horner, 1957; Smith and Kinman, 1965; Vogel, 1980, 1981; Casler, 1982; Chiow and Wynne, 1983; Anderson et Al., 1991; Foolad and Jones, 1992; Uhr and Murphy, 1992) .

Le fait que les parents (S1) soient évalués sur un lieu différent de celui des enfants (S2) conduit à une estimation non biaisée par l'interaction du milieu (Casler, 1982), ni par la corrélation environnementale parent-offspring qui est rendue minimale (Vogel, 1980). Deux effets, qui en provoquant une inflation de l'héritabilité, peuvent nous rendre confiant quant au progrès génétique attendu?!

Pour se libérer de l'effet d'échelle de mesure, du fait des deux milieux, Frey and Horner proposent une héritabilité standardisée. Dans notre cas, cette libération est faite par l'utilisation de la corrélation en lieu et place du coefficient de régression. Proposé par Smith and Kinman (1965), un ajustement égale à $[1/2\theta_{PO}]$, où θ_{PO} est le coefficient de parenté entre les deux générations utilisées, est réalisé.

La formule s'écrit : $h^2_s = h^2_{S1:2} = r_{S2,S1} / 2\theta_{PO} = 2/3 \text{ cov}(S2,S1) / (\sigma_{S2} \sigma_{S1})^{1/2}$.

La variance d'échantillonnage de l'héritabilité est estimée à partir de la formule de Scheinberg (1966) : $SE(h^2_s) = 2/3 SE(r_{S2,S1})$.

Un autre niveau d'héritabilité qui utilise la variance génétique totale (σ^2_U) est l'héritabilité parcellaire (h^2_l), c'est une héritabilité au sens large, avec comme estimateur : $h^2_l = \sigma^2_U / (\sigma^2_U + \sigma^2_\epsilon)$.

4.2 Modélisation de la valeur additive par la méthode BLUP,

Le BLUP en minimisant le risque quadratique $E(U_i - \hat{U}_i)^2$ pour un génotype (i) donné est la meilleure prédiction des valeurs génétiques (Henderson, 1977). Sachant que P et U bivariate normale, cette prédiction nous est donc fournie par la régression géno-phénotypique multivariable, sous la forme :

$$[\hat{U}] = \Sigma_{UP} \Sigma_{PP}^{-1} [P]$$

⇒ Cette formule de Henderson (1975) montre que nous sélectionnons bien, en tenant compte: (1) des héritabilités et (2) des corrélations entre caractères mesurés ou non dans des lieux différents. Nous allons montrer qu'en plus nous prenons en compte les relations entre apparentés.

Dans ce type de régression Vincourt et Gallais (1983) ont utilisé du fait de son équivalence avec le risque quadratique, le coefficient de détermination de la vraie valeur par la valeur prédite, comme mesure de la qualité de la prédiction. C'est l'héritabilité au sens multivariable (h^2_m); par opposition à l'héritabilité au sens univariable (h^2_u) liée au système de test et qui est fournie par le coefficient de régression ($\Sigma_{UP} \Sigma_{PP}^{-1}$) quand la variable à prédire et le prédicteur unique sont une même variable.

L'estimation de l'héritabilité au sens multivariable est obtenue pour chaque variable, par le rapport des éléments diagonaux des matrices de variance-covariance des estimateurs ($\Sigma_{\hat{U}\hat{U}}$) et des vraies valeurs génétiques (Σ_{UU}).

Avec la forme quadratique : $\Sigma_{\hat{U}\hat{U}} = \Sigma_{UP} \Sigma_{PP}^{-1} \Sigma_{PU}$.

Cette héritabilité au sens multivariable donne les critères devant être définitivement retenus dans l'index pour un classement optimal des individus dans famille.

4.3 Prédiction de la réponse à la sélection et efficacité relative,

La réponse sur un caractère (q) est obtenue par la formule :

$${}_q\Delta G = i \text{cov } \hat{U}\hat{U}/(\text{var } \hat{U})^{1/2}$$

Ce qui revient à travailler sur l'écart-type des éléments diagonaux. La formule devient en écriture matricielle : $\Delta G = i \Sigma_{\hat{U}\hat{U}}^{1/2}$

⇒ La réponse sur chaque caractère, à la sélection sur un caractère (q) est :

$$[\Delta G_q] = (i/\sigma_{Uq}) \Sigma_{\hat{U}\hat{U}}^{1/2}.$$

Valeur d'autant plus appréciable qu'elle nous permet de connaître la valeur du progrès que l'on obtiendrait si une sélection donnée était pratiquée. Montrant ainsi que la sélection multicaractère n'est pas aveugle.

⇒ L'efficacité relative de la sélection est obtenue par le rapport du ΔG avec prise en compte de plusieurs caractères sur le ΔG du caractère seul. C'est une mesure du gain que nous apporte la sélection multicaractère par index par rapport à la sélection monocaractère pratiquée auparavant.

5. STRATÉGIES de CONSTRUCTION des INDEX de SÉLECTION.

5.1 L'index de sélection monogénération,

L'introduction du modèle de la génétique quantitative permet d'avoir les coefficients de la régression géno-phénotypique, pour accéder à la valeur génétique des enfants.

Modèle Individu-Famille SI; un seul régime hydrique.

$$P_{ijk} = \mu + \beta_j + \varphi_i + \delta_{kji} + \varepsilon_{ijk}.$$

La variance génétique totale en autofécondation, pour les trois composantes est : $\Sigma_{UU} = 3/2 \Sigma_A + 1/2 \Sigma_D + 9/4 \Sigma_{AA}$; que l'on décompose en supposant l'additivité stricte, ce qui est une hypothèse forte mais la seule possible en l'absence d'un dispositif d'estimation des composantes de la variance génétique

$$\Sigma_{\varphi}(\text{inter SI}) = \Sigma_A \quad \& \quad \Sigma_{\varphi}(\text{intra SI}) = 1/2 \Sigma_A$$

En négligeant le terme parcellaire du fait que, même au cas où l'effet d'interaction famille-bloc est significatif, il n'apporte pas d'information génétique, mais plutôt une information d'origine environnementale. La prédiction linéaire donne deux prédicteurs qui représentent les deux niveaux de variabilité génétique considérés :

$\hat{E}_i = (P_{i..} - P_{...})$: contribution de l'effet familiale en écart à la moyenne de la population;

$\hat{O}_{ik} = (P_{i.k} - P_{i..})$: contribution de l'individual effect en écart à la moyenne familiale.

L'équation de prédiction de la valeur génétique des enfants sur la valeur phénotypique s'écrit:

$$\hat{U}_{ik} = \beta_1 \hat{E}_i + \beta_2 \hat{O}_{ik},$$

$$\beta_1 = \text{cov } U\hat{E}_i / \text{var } \hat{E}_i = [\text{cov } UN^* + (1/IJ) (\text{cov } PO - \text{cov } UN^*)] / E(CM\phi/IJ)$$

$$\beta_2 = \text{cov } U\hat{O}_{ik} / \text{var } \hat{O}_{ik} = [\text{cov } PO - \text{cov } UN^*] / E(CM\delta/J)$$

A partir du schéma de parenté que donne le modèle mère/fille on a :

$$\text{cov } PO = 3/4 \Sigma_A \quad \& \quad \text{cov } UN^* = 1/2 \Sigma_A$$

$$\beta_1 = \Sigma_{U\hat{E}} \Sigma^{-1}_{PP(BSI)} = (1/2 + 1/4 IJ) \Sigma_A \Sigma^{-1}_{PP(BSI)}$$

$$\beta_2 = \Sigma_{U\hat{O}} \Sigma^{-1}_{PP(WSI)} = 1/4 \Sigma_A \Sigma^{-1}_{PP(WSI)}$$

Malgré le modèle mère/fille nous avons conservé PO, UN* et FS par habitude (covariance parent-descendant & covariance oncle-neveu de plus que des pleins frères).

$[\hat{U}_{ik}] =$	$(1/2 + 1/4 IJ) \Sigma_A$	\ddot{O}	$\Sigma^{-1}_{PP(BSI)}$	\ddot{O}	$[\hat{E}_i]$
	\ddot{O}	$1/4 \Sigma_A$	\ddot{O}	$\Sigma^{-1}_{PP(WSI)}$	$[\hat{O}_{ik}]$

On en déduit les héritabilités *sensu stricto* :

$$h^2_{\phi(\text{inter } SI)} = (1/2 + 1/4 IJ) \Sigma_A \Sigma^{-1}_{PP(BSI)} \quad \text{héritabilité inter-familles}$$

$$h^2_{\phi(\text{intra } SI)} = 1/4 \Sigma_A \Sigma^{-1}_{PP(WSI)} \quad \text{héritabilité intra-famille}$$

Σ_A matrice de variance-covariance des effets génétiques additifs.

$\Sigma^{-1}_{PP(BSI)}$ matrice de variance-covariance phénotypique de l'effet familial.

$\Sigma^{-1}_{PP(WSI)}$ matrice de variance-covariance phénotypique de "l'individual effect".

$\Sigma_{U\hat{E}}$ matrice de covariance entre valeurs génétiques à prédire et prédicteurs phénotypiques de l'effet familial.

$\Sigma_{U\hat{O}}$ matrice de covariance entre valeurs génétiques à prédire et prédicteurs phénotypiques de "l'individual effect".

\hat{O} matrice nulle car $\text{cov}(U_i, U_{ik}) = 0$ et $\text{cov}(\delta_{ik}, \delta_{ik'}) = 0$.

$[\hat{E}_i]$ matrice des prédicteurs phénotypiques de l'effet familial.

$[\hat{O}_{ik}]$ matrice des prédicteurs phénotypiques de "l'individual effect".

$[\hat{U}_{ik}]$ matrice des valeurs génétiques des individus dans famille.

⇒ L'évaluation BLUP fournit les valeurs génétiques par régression géno-phénotypique multivariable et nous a permis de construire la matrice de variance-covariance des valeurs génétiques prédites :

$$\Sigma_{\hat{U}\hat{U}} = \Sigma_{U\hat{E}} \Sigma^{-1}_{PP(BSI)} \Sigma_{\hat{E}U} + \Sigma_{U\hat{O}} \Sigma^{-1}_{PP(WSI)} \Sigma_{\hat{O}U}$$

Le coefficient de détermination ($\rho^2_{\hat{U}\hat{U}}$) qui donne la qualité de la prédiction, est obtenue par le rapport des éléments diagonaux de $\Sigma_{\hat{U}\hat{U}}$ et Σ_{UU} , c'est rappelons le, l'héritabilité au sens multivariable.

⇒ L'index multicaractère utilisé en tant que critère unique de sélection, est calculé comme combinaison linéaire des valeurs génétiques additives des caractères, pondérés par leur coefficient économique relatif (Smith, 1936; Hazel, 1943; Henderson, 1977; Gallais, 1990) :

$$[\hat{I}_{ik}] = {}^t[\mathbf{a}] [\hat{U}_{ik}]$$

On détermine les éléments du vecteur $[\mathbf{a}]$ par la méthode des gains désirés de Pesek and Baker (1969), de façon à optimiser le vecteur des espérances des gains génétiques $E[\Delta G]$ après troncature sur $\Delta \hat{I}$.

$$E[\Delta G_{ik}] = (i_B/\sigma_{iB}) \Sigma_{U\hat{E}} \Sigma^{-1}_{PP(BSI)} [\mathbf{a}] + (i_W/\sigma_{iW}) \Sigma_{U\hat{O}} \Sigma^{-1}_{PP(WSI)} [\mathbf{a}]$$

est bien la valeur attendue sur le caractère, pour une sélection basée sur la performance individuelle de la descendance tenant compte de la valeur familiale. ($i_{B/W}$ = différentielle standardisée pour la sélection inter / intra-famille).

5.2 L'index de sélection multigénération,

L'index multigénération dont nous devons la première application à Cunningham (1975), a fait l'objet d'un faible nombre de communication (Godshalk et Al., 1988 sur *Panicum virgatum*; Bouchez, 1988 sur *Glycine max*). Il est particulièrement employé par les animaliers (Ducrocq, 1990) et les forestiers (Burdon, 1982; Cotterill and James, 1981; Burdon, 1989).

L'index multigénération nous permet de sélectionner les plantes-mères devant subir l'opération test physiologique, à cause des contraintes techniques et humaines pour ce test -environ 700 individus maximum sont utilisables. Il est réutilisé pour la sélection des individus devant subir l'opération d'intercroisements, en prenant en compte l'information multilocale apportées par les familles S2 expérimentées dans deux lieux contrastés et celle provenant des apparentés S1. Les deux générations sont considérées comme deux années distinctes. Ainsi, la covariance parent-offspring utilisé donne accès à une héritabilité *sensu stricto* sans hypothèse sur les variances de dominance et épistatique, contrairement à ce que nous obtenons avec l'index monogénération. Cet index se rapproche donc plus de la réalité génétique des différents caractères de l'arachide qu'un index monogénération.

Modèle Individu-Famille S2: notion de caractère-lieu.

$$P_{ijk} = \mu + \beta_j + \varphi_i + \delta_{kji} + \varepsilon_{ijk} .$$

La variance génétique totale en autofécondation, pour les trois composantes est : $\Sigma_{UU} = 7/4 \Sigma_A + 1/4 \Sigma_D + 49/16 \Sigma_{AA}$, que l'on décompose en :

$$\Sigma_{\varphi}(\text{inter S2}) = 3/2 \Sigma_A + 1/8 \Sigma_D + 9/4 \Sigma_{AA}$$

$$\Sigma_{\varphi}(\text{intra S2}) = 1/4 \Sigma_A + 1/8 \Sigma_D + 13/16 \Sigma_{AA}$$

La prédiction linéaire donne deux prédicteurs pour chacune des deux générations :

${}^{Sn}\hat{E}_i = (P_{i..(Sn)} - P_{... (Sn)})$: contribution de l'effet familiale en écart à la moyenne de la génération (Sn) et

${}^{Sn}\hat{O}_{ik} = (P_{i.k(Sn)} - P_{i..(Sn)})$: contribution de l'individual effect en écart à la moyenne familiale de la génération (Sn).

⇒ L'évaluation BLUP fournit donc les valeurs génétiques prédites (\hat{U}_{ik}) et leur matrice de variance-covariance ($\Sigma_{\hat{U}\hat{U}}$) selon la formule :

$$\Sigma_{\hat{U}\hat{U}} = [\Sigma^{S1}_{UE} \Sigma^{-1}_{PP(BS1)} \Sigma^{S1}_{EU} + \Sigma^{S1}_{UO} \Sigma^{-1}_{PP(WS1)} \Sigma^{S1}_{OU}] + [\Sigma^{S2}_{UE} \Sigma^{-1}_{PP(BS2)} \Sigma^{S2}_{EU} + \Sigma^{S2}_{UO} \Sigma^{-1}_{PP(WS2)} \Sigma^{S2}_{OU}] + [{}^1\Sigma_{PP(BS1S2)} + {}^1\Sigma_{PP(WS1S2)}]$$

sachant par ailleurs que $\Sigma_{UE/UO} = \Sigma_{PP(B/WS1S2)}$ car $\Sigma_{EE(B/WS1S2)} = \ddot{O}$ (annexe 5).

Un avantage certain du multistage est que la variance génétique des S1 que l'on estime est maintenant connue, c'est la variance génétique en valeur propre des S2.

$$[\hat{U}_{ik}] = [\beta_1 {}^{S1}\hat{E}_i + \beta_2 {}^{S1}\hat{O}_{ik}, \beta_3 {}^{S2}\hat{E}_i + \beta_4 {}^{S2}\hat{O}_{ik}]$$

avec $\beta_3 = {}_B h^2_s$ et $\beta_4 = {}_W h^2_s$.

Ces héritabilités *sensu stricto* contiennent la variance additive et la variance épistatique additive-additive; elles s'obtiennent en calculant d'abord le produit des éléments diagonaux des matrices entre crochets selon les formules suivantes:

- Pour l'héritabilité inter-familles (${}_B h^2_s$) nous avons :

$$h^2_{S1:2(inter)} = 2/3 \Sigma_{UU(S1:2)} [\Sigma_{PP(BS1)} \Sigma_{PP(BS2)}]^{-1/2}$$

- et pour l'héritabilité intra-famille (${}_W h^2_s$) :

$$h^2_{S1:2(intra)} = 2/3 \Sigma_{UU(S1:2)} [\Sigma_{PP(WS1)} \Sigma_{PP(WS2)}]^{-1/2}$$

⇒ L'index multigénération multicaractère utilisé en tant que critère unique de sélection combinée individu-famille S2 est :

$$[\hat{I}_{ik}] = {}^t[a] [\hat{U}_{ik}]$$

Etant donné que nous sommes en sélection multisite, les pondérations de l'index sont les valeurs que l'on accorde aux différents sites .

(1) La valeur attendue sur le caractère, pour une sélection basée sur la performance individuelle de la descendance tenant compte de la valeur familiale est :

$$E[\Delta G_{ik}] = (i_B/\sigma_{iB}) B h^2_s [a] + (i_W/\sigma_{iW}) W h^2_s [a]$$

C'est cette relation qui permet d'apprécier la pondération optimale à appliquer à chacun des critères retenus dans le processus de sélection récurrente pour la création de matériel de départ.

(2) Cet index de sélection sert également dans la seconde étape du processus de création variétale qui est faite par sélection pedigree. Dans cette perspective, seuls les prédicteurs des effets familiaux en S2 et en S1 sont utilisés. La valeur génétique additive en S2 s'obtient par la relation :

$$[{}^{S2}\hat{U}_i] = [\beta_3 {}^{S2}\hat{E}_i]$$

La démarche est donc la même que précédemment mais en plus simple.

6. L'APPORT de VARIABILITÉ NOUVELLE .

Le rôle important que joue la variabilité dans l'efficacité de la sélection chez l'arachide est illustré par différents auteurs dont Halward and Wynne (1992) qui montrent que le progrès génétique est conditionné par une forte intensité de sélection et une large base génétique des fondateurs.

Pour augmenter le niveau de variabilité génétique de la population source SR1 à cause des fortes pressions de sélection exercées lors des cycles précédents, il nous faut injecter une nouvelle source de variation lors de la prochaine opération d'intercroisements.

Ainsi, les individus sélectionnés à partir de la population source P1 de SR1 pour leurs performances agronomique et physiologique, seront intercroisés avec ceux retenus lors de la sélection, à partir d'un index multigénération, sur la population tampon P0 de SR2. Ce schéma nous rapproche du modèle de sélection récurrente proposé par Gallais (1977a) pour une efficacité accrue de notre schéma. La SR2, qui va servir de population tampon, a révélé une certaine sensibilité à *Cercospora arachidicola* (early leaf spot) qu'on devra contrôler.

APPLICATION

PRATIQUE

Table 1. Description des caractères étudiés et leur sigle.

Descriptions	Sigle
<i>Agronomiques:</i>	
- Pourcentage de gousses matures (%)	GMAT
- Densité en gousses (nombre/parcelle)	DENG
- Poids moyen en gousses d'un plant (gr)	PMGO
- Rendement en semences (gr/parcelle)	PPSE
- poids de 100 graines (gr)	PCGR
<i>Morphologiques:</i>	
- Longueur du système racinaire 14 jas* (cm)	LOR2
- Largeur du système racinaire 28 jas (cm)	LAR3
- Surface foliaire (dm ²)	SFOL
<i>de Tolérance:</i>	
- Contenance relative en eau 1h (%)	RWC1
- Transpiration cuticulaire (mg/mn/dm ²)	TRCU
- Masse surfacique de la feuille (mg/dm ²)	MSFE
- Résistance protoplasmique à la chaleur (%)	INTE

*jas: jours après semis.

V. APPLICATION PRATIQUE DE L'INDEX DE SÉLECTION.

1. MATÉRIEL et MÉTHODES.

L'expérimentation a eu lieu au CNRA de Bambey. Le matériel génétique est la population dénommée SR1, qui fut divisée en 2 sous-populations: l'une de 96 familles S1 pour le test de rendement (essai 2) réalisé en plein champ avec irrigation d'appoint (lieu 1); la seconde, conduite en serres avec suspension d'arrosage 15 jas (lieu 2) pour l'évaluation des caractères d'adaptation à la sécheresse, est constituée de 48 familles S1 (essai 1). Dans cette seconde sous-population, 27 familles ont également fait l'objet d'une évaluation en plein champ en hivernage 1991 pour les besoins de l'index de sélection (essai 2 du lieu 1).

Les essais de rendement ont été implantés suivant un dispositif statistique en un bloc complètement randomisé à 2 répétitions, à raison d'une ligne de 6m par famille selon un écartement de 50x30cm. L'essai en serres avait un dispositif en randomisation totale à raison de 8 plantes par famille et d'une plante par rhizotron.

Les caractères de rendement et d'adaptation physiologique mesurés lors de l'expérimentation et devant être analysés sont résumés dans la table 1.

Les traitements statistiques ont été réalisés selon la méthode d'analyse de Henderson III (1975) basée sur le BLUP. Les valeurs familiales d'index monogénération de Smith-Hazel (1943), ont été calculées suite aux pondérations affectées selon la méthode des gains génétiques désirés de Pesek and Baker (1969). Avec cette méthode, les coefficients économiques sont calculés par le modèle, ce qui nous paraît plus approprié (Fall, 1992).

2. RÉSULTATS et DISCUSSION.

L'analyse des tables 2a et 2b, montre comment le choix des prédicteurs phénotypiques influence la qualité de la prédiction des valeurs génétiques des individus.

Table 2a. Héritabilités: Multivariable (H^2m) et Univariable (H^2u).

<i>Prédicteurs agronomiques:</i>	GMAT	DENG	PMGO	PCGR	PPSE
m1: PMGO	0,039	0,037	0,502	0,121	0,438
m2: PMGO PCGR	0,081	0,471	0,532	0,885	0,444
m3: PMGO DENG	0,076	0,615	0,549	0,619	0,438
m4: GMAT PMGO PCGR	0,751	0,498	0,539	0,888	0,515
H^2u^{**}	0,744	0,552	0,502	0,882	0,556

** H^2u non significativement différentes de leur héritabilité au sens large, respectivement.

Table 2b. Héritabilités: Multivariable (H^2m) et Univariable (H^2u).

<i>Prédicteurs physiologiques:</i>	LOR2	LAR3	SFOL	RWC1	TRCU	MSFE	INTE
m1: LOR2 LAR3 SFOL TRCU MSFE	0,881	0,818	0,793	0,359	0,809	0,801	0,849
m2: LOR2 LAR3 SFOL MSFE	0,879	0,796	0,788	0,353	0,443	0,793	0,707
m3: LOR2 LAR3 SFOL RWC1 MSFE	0,885	0,803	0,788	0,721	0,461	0,796	0,863
m4: LOR2 LAR3 SFOL RWC1 MSFE TRCU	0,885	0,821	0,793	0,721	0,811	0,804	0,969
H^2u^{**}	0,872	0,792	0,763	0,684	0,782	0,773	0,546

** H^2u significativement supérieures à leur héritabilité au sens large, respectivement.

Table 3a. Progrès Génétique (ΔG) sur l'Index de Productivité.

	Param.	GMAT	DENG	PMGO	PCGR	PPSE
model: GMAT PMGO PCGR	H^2m	0,751	0,498	0,539	0,888	0,515
Index 1: 4,20 3,76 2,50*	ΔG	4,01	29,43	3,59	2,39	46,68
	a	0,02	0,00	0,30	-0,04	0,00
Index 2: 4,20 3,76 0,00	ΔG	3,43	51,28	3,09	0,00	40,74
	a	-0,01	0,00	0,41	-0,12	0,00

*Gains désirés; pression de sélection = 35%

a: coefficients économiques.

Ainsi, de la table 2a on peut dire que selon le modèle 1 (m1), la mesure du poids de gousses ne permet pas de prédire les composantes du rendement. En combinant les modèles 1, 2 et 3, on constate que la précocité à la maturité n'est connue que par sa valeur propre. Le modèle 3 indique que le meilleur caractère auxiliaire pour la prédiction de PMGO est la densité en gousses. Mais le prédicteur phénotypique optimal à retenir autour de PMGO est donné par le modèle 4, car le suivi de la taille des gousses est plus important que celui de la densité. Le second caractère qui s'impose est GMAT. Quand PCGR et GMAT sont combinés, ils donnent une assez bonne prédiction de DENG. Mais quelque soit le modèle retenu à partir de notre population, les héritabilités multivariées ne diffèrent pas des héritabilités univariées à cause des valeurs élevées de ces dernières.

De la table 2b, on constate que le meilleur modèle pour l'index spécifique est le m4, mais le nombre de critères retenus y étant important, son utilisation dans l'index combiné sera limitée du fait que le nombre de caractères ne peut dépasser 8 sans provoquer de biais. Le prédicteur phénotypique retenu dans ce groupe de critères physiologiques est le m1, qui est équivalent à m3 quant au gain apporté. Il est à retenir la bonne prédiction de INTE. Les héritabilités multivariées ne diffèrent pas significativement des héritabilités univariées à cause des valeurs élevées de ces dernières, qui dans ce groupe de critères sont surévaluées par les faibles variances résiduelles du système de test.

Les index de productivité développés à partir des gains génétiques désirés (table 3a), montrent:

- Pour l'index 1, qu'en choisissant de progresser sur la précocité de 4 unités, sur PMGO de 3,6 unités (ce qui est équivalent à progresser de 46,68 unités sur PPSE) et sur PCGR de 2,4, alors on progresse corrélativement de 29,4 unités sur DENG.

- Pour l'index 2, en choisissant de progresser sur la précocité et sur PMGO des mêmes unités que précédemment et de rester constant sur PCGR dont la valeur moyenne pour la population en étude est de 40-45 grammes, alors on progresse corrélativement de 51,3 unités sur DENG. Ce qui fait dire que si l'on progresse sur le poids de gousses sans progresser sur la taille des gousses, c'est le nombre de gousses qui en bénéficie. Nous rejoignons dans ce cas l'idéotype recherché.

Table 3b. Progrès génétique (ΔG) sur l'Index d'Adaptation physiologique.

	Param.	LOR2	LAR3	SFOL	RWC1	TRCU	MSFE	INTE
mol: LO2 LA3 SFO MSF TRCU	H^2m	0,881	0,818	0,793	0,359	0,809	0,801	0,849
Ind: 4.0* 0.3 1.23 1.45 0.45	ΔG	2,28	0,17	0,70	0,26	0,83	0,26	0,68
	a	-0,22	7,03	0,24	0,00	0,75	1,04	0,00

*Gains désirés; pression de sélection = 35%

Table 4a. Héritabilité Multivariable (H^2m).

<i>Prédicteurs agro-physiologiques:</i>	GMAT	PMGO	PCGR	PPSE	LOR2	LAR3	TRCU	MSFE
GMAT PMGO PCGR LAR3 MSFE SFOL	0,756	0,555	0,891	0,536	0,815	0,805	0,412	0,791

Table 4b. Progrès génétique (ΔG) sur l'Index combiné.

	Param.	GMAT	PMGO	PCGR	PPSE	LOR2	LAR3	TRCU	MSFE
Index 1: PCGR PPSE LAR3	ΔG	1,35	2,17	1,44	34,50	1,65	0,22	-1,52	0,00
0.00 48.00 0.30*	a	0,00	0,00	-0,09	0,02	0,00	3,31	0,00	0,00
Index 2: PCGR PPSE LAR3 MSFE	ΔG	2,25	2,09	0,00	31,91	2,93	0,16	-1,07	0,10
0.00 48.00 2.40 0.15	a	0,00	0,00	-0,17	0,03	0,00	3,27	0,00	1,40

*Gains désirés; pression de sélection = 35%

a: coefficients économiques.

On constate également l'importance économique accordée à la variable poids de gousses, 0,30 et 0,41 respectivement pour les 2 index. Le coefficient accordé à la variable taille de gousses (-0,12), indique bien la restriction que nous avons choisi dans l'index 2 pour ce caractère.

L'index d'adaptation physiologique développé montre que si l'on progresse sur les 5 critères pour les valeurs indiquées dans la table 3b, corrélativement on progresse sur la contenance relative en eau et sur la résistance protoplasmique. Mais, même en accordant une importance économique plus grande à LAR3 (7,03), caractère le mieux corrélé aux autres, les progrès obtenus sont très faibles, 0,3 et 0,7 unités respectivement pour les 2 caractères précités. La recherche de l'idéotype d'adaptation physiologique reste donc relativement difficile.

Dans l'index combiné, on choisit de progresser simultanément sur les critères agronomiques et d'adaptation physiologique, et de retenir les meilleurs individus pour lesquels ces caractères sont réunis.

Les critères morpho-physiologiques de la table 4a, n'apportent pas d'information supplémentaire à la prédiction du rendement et de ses composantes. Un plus grand nombre de prédicteurs a été testé, mais aucun n'apporte d'information supplémentaire supérieure à celle de la table.

Les index combinés construits dans la table 4b montrent la faiblesse des progrès que l'on pourrait obtenir. Tout comme l'index d'adaptation, en accordant une importance économique supérieure à LAR3, les réponses sur les composantes du rendement restent très faibles, de même que sur les critères physiologiques (LOR2, MSFE).

Ce manque de gain d'information supplémentaire aux caractères est dû au fait que, les corrélations génétiques obtenues à partir des sous-populations étudiées, sont toutes faibles pour des valeurs d'héritabilité fortes.

Conclusion.

La construction des index de sélection est tout de même réalisable, malgré les puissants moyens de calcul qu'elle réclame, le choix du système de test optimal et la précision dans l'expérimentation qu'elle exige. Elle est un impératif à la sélection pour une adaptation à un environnement complexe, qui se veut multicaractère.

CONCLUSION

GÉNÉRALE

CONCLUSION

⊗ La connaissance des effets des gènes des caractères à améliorer ou qui leur sont corrélés oriente le sélectionneur dans le choix des critères, de la méthode de sélection et de la population parentale devant participer au processus d'amélioration. Leur estimation correcte doit donc tenir compte des éventuels facteurs environnementaux de variation, malgré la difficulté que cela représente chez une légumineuse autogame.

⊗ Outil de gestion de la variabilité génétique, car révélant les ruptures de linkage survenues suite à l'opération d'intercroisements, les méthodes d'analyses multidimensionnelles, indispensables en sélection récurrente multicritère nous ont permis :

- d'interpréter les inter-relations qui sont à la base du progrès, sur les valeurs génétiques additives de la plante entière, devant être cumulé à chaque cycle de sélection;
- de connaître les bases génétiques de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide au niveau de la plante entière.
- de gérer la variation génétique devant exister entre les populations source et tampon et entre individus sélectionnés dans la population source par rapport aux structures parentales de départ.

Cette approche pluridisciplinaire, pour une efficacité accrue de la sélection, permet également en se référant aux groupes de performances de mieux raisonner le choix réalisé après troncature sur l'index.

⊗ Après que nous ayons mis en relief l'importance d'une sélection multilocale dans le cas d'une amélioration pour une adaptation et la modélisation de l'interaction génotype-milieu comme critère de choix du milieu de sélection, il ressort que seule une sélection multicaractère conduit à l'identification des meilleurs génotypes. Mais pour combiner efficacité de la sélection et optimum

des coûts de sélection, il est avéré que seul un index de sélection peut contribuer à la résolution de ce dilemme. Car elle est la seule méthode à même d'utiliser à meilleur escient toute l'information apportée -*tant par les données préliminaires en S1, les données sur les apparentés, celles en multilocale que par celles combinées des groupes de critères agronomiques et physiologiques.*

Une efficacité de la sélection et un optimum des coûts de sélection, rendent indispensables le développement d'un index multigénération de sélection combinée individu-famille. Pour ce faire, à partir d'un modèle linéaire mixte, la méthodologie BLUP, qui exploite l'outil qu'est la génétique quantitative en tirant profit des relations entre apparentés intra-génération et inter-génération, conduit à la décomposition du phénotype en ses effets génétiques et environnementaux. L'absence d'hypothèses fortes sur l'indépendance de ces deux effets dans l'évaluation BLUP nous a permis d'utiliser le concept de caractère-lieu, augmentant ainsi la précision de l'estimation des effets précités. Il est sans conteste un auxiliaire précieux et donc, comme l'index de sélection, une amélioration importante du programme de sélection sur l'arachide car permet de sélectionner sur des valeurs génétiques additives et non sur les valeurs phénotypiques enclines d'erreurs. Enfin, cet index donne le meilleur classement des individus auquel on pourrait s'attendre.

⊗ L'analyse génétique sera suivie d'une analyse de la diversité par marquage moléculaire sur des populations améliorées et exotiques, autre amélioration du programme de sélection sur l'arachide. Cette analyse par génie génétique permet:

(1) de révéler ou non les relations existantes entre le polymorphisme non-neutre et le potentiel d'adaptation;

(2) de savoir si le potentiel d'adaptation est dû aux combinaisons géniques synergiques des formes épistatiques additives-additives qui peuvent se former et se maintenir rapidement, ou bien s'il est dû à des effets pléiotropiques au niveau des gènes à effets physiologiques dans la plante entière;

(3) de connaître les distances génétiques au sens de NEI et de structurer la variabilité au niveau populationnel. Mais surtout de connaître l'amplitude de la variation génétique au niveau individuel qui fonde notre approche. Car le faible polymorphisme enzymatique révélé qui contraste fortement avec l'énorme diversité morphologique et agronomique observée principalement sur les

caractères du port et du fruit tels que le bec, l'étranglement, la réticulation de la gousse, la couleur du tégument et le rendement par pied serait due très probablement à une faible diversité allélique lors de la domestication et par la suite à une dérive génétique provenant de la sélection artificielle, ou bien à un faible nombre de loci entrant dans la variation des caractères de diversité précités. L'intérêt croissant que nous avons pour la compréhension de ce paradoxe nous amène à rechercher les facteurs de la structuration de la diversité génétique au niveau du polymorphisme non-neutre pour une meilleure gestion de cette dernière dans les schémas de sélection.

Mais que nous réserve la nature allotétraploïde des arachides cultivées?
L'étude révélera-t-elle un polymorphisme intra-locus fort ?

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE

1. Acevedo E., 1991. Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environments. Use of yield, morphological and physiological traits. In : Physiology-Breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments. Paris (F), INRA. (ed), p. 273-305. Les Colloques, 55
2. Acevedo E., Ceccarelli S., 1989. Role of physiologist-breeder in a breeding program for drought resistance conditions. In : Drought resistance in cereals. 1. Crops. Breeding for efficient water use. Wallingford (GBR), Baker F.W.G. (ed) , p. 117-139. CAB. International Pub.
3. Acquah G., Adams M.W., Kelly J.D., 1992. A factor analysis of plant variables associated with architecture and seed size in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Euphytica, 60 : 171-177.
4. Ahmadi N., 1983. Variabilité génétique et hérédité de mécanismes de tolérance à la sécheresse chez le riz, *Oryza sativa* L. : I. Développement du système racinaire. II. Sensibilité stomatique aux déficits hydriques. L'Agronomie Tropicale, 38 (2) : 110-122.
5. Allen F.L., Comstock R.E., Rasmusson D.C., 1978. Optimal environments for yield testing. Crop Science, 18 (5) : 747-751.
6. Allen F.L., Panter D.M., 1990. A selection index for soybeans combining traits, locations and CVs. Agronomy Abstracts, 82 : 78-78.
7. Anderson W.F., Holbrook C.C., Wynne J.C., 1991. Heritability and early-generation selection for resistance to early and late leafspot in peanut. Crop Science, 31 (3) : 588-593.
8. Annerose D.J.M., 1988. Critères physiologiques pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. Oléagineux, 43 (5) : 217-222.
9. Annerose D.J.M., 1990. Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse Doc. "Biol Physio Plant", Univ. Paris VII, , 282 p.
10. Annerose D.J.M., 1991. Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. II. Evaluation des formes de sécheresse agronomique de l'arachide au Sénégal par simulation du bilan hydrique de la culture. Oléagineux, 46 (2) : 61-67.
11. Annerose D.J.M., Diagne M., 1990. Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. I. Présentation d'un modèle simple d'évaluation appliqué au cas de l'arachide cultivée au Sénégal. Oléagineux, 45 (12) : 547-557.

12. **Annicchiarico P., Pecetti L., 1993.** Contribution of some agronomic traits to durum wheat performance in a dry Mediterranean region of Northern Syria. *Agronomie*, 13 (1) : 25-34.
13. **Arrendell S., Wynne J.C., Elkan G.H., Schneeweis T.J., 1988.** Selection among early generation peanut progeny for enhanced nitrogen fixation. *Peanut Science*, 15 (2) : 90-93.
14. **Arrendell S., Wynne J.C., Rawlings J.O., 1989.** Genetic variability and selection for acetylene reduction in peanut. *Crop Science*, 29 (6) : 1387-1392.
15. **Atlin G.N., Frey K.J., 1989.** Predicting the relative effectiveness of direct versus indirect selection for oat yield in three types of stress environments. *Euphytica*, 44 : 137-142.
16. **Badiane O., 1992a.** The performance of the African Groundnut Council countries in groundnut production and trade. In : Proceedings of an international workshop. Groundnut: A global perspective, Nigam S.N. Edit. Patancheru (IND), 1991/11/25-29. Patancheru (IND), ICRISAT, p. 33-51.
17. **Badiane O., 1992b.** Le déclin du commerce arachidier dans les pays du Conseil Africain de l'Arachide: rôle des facteurs internes et externes. *Arachide Infos* (4) : 8-13.
18. **Baker J.L., Verhalen L.M., 1973.** The inheritance of several agronomic and fiber properties among selected lines of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Crop Science*, 13 (4) : 444-450.
19. **Baker R.J., 1978.** Issues in diallel analysis. *Crop Science*, 18 (4) : 533-536.
20. **Bidinger F.R., Witcombe J.R., 1989.** Evaluation of specific drought avoidance traits as selection criteria for improvement of drought resistance. In : Drought resistance in cereals. 1. Crops. Breeding for efficient water use. Wallingford (GBR), Baker F.W.G. (ed) , p. 151-164. C.A.B. International Pub.
21. **Bockelée-Morvan A., 1983.** Les différentes variétés d'arachide. Répartition géographique et climatique, disponibilité. *Oléagineux*, 38 (2) : 73-116.
22. **Bouchez A.P., 1988.** Contribution à la construction et à la validation des index de sélection: Application à la sélection du soja. Thèse Doc-Ing "Sci Agro Amel Plant", INP/Toulouse, , 95 p.
23. **Bouffil F., 1954.** Biologie, écologie et sélection de l'arachide au Sénégal. Thèse Doc-Ing "Agric. Tropicale", Montpellier (FRA), Min Fce d'Outre Mer, 111 p. Bull. Scientifique (1)
24. **Brabant P., Manes Y., Trottet M., Picard E., 1989.** Corrélations génétiques, héritabilités et possibilités de sélection multilocale précoce sur le rendement chez le blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.). *Agronomie*, 9 (1) : 49-54.
25. **Braun H.J., Pfeiffer W.H., Pollmer W.G., 1992.** Environments for selecting widely adapted spring wheat. *Crop Science*, 32 (6) : 1420-1427.
26. **Burdon R.D., 1979.** Generalisation of multi-trait selection indices using progeny test information from several sites. *New Z. J. Forest Science*, 9 (2) : 145-152.

27. **Burdon R.D., 1989.** Early selection in tree breeding: Principles for applying index selection and inferring input parameters. *Can. J. For. Res.*, 19 : 499-504.
28. **Byth D.E., Weber C.R., Caldwell B.E., 1969.** Correlated truncation selection for yield in soybeans. *Crop Science*, 9 : 699-702.
29. **Cahaner A., Hillel J., 1980.** Estimating heritability and genetic correlation between traits from generations F2 and F3 of self-fertilizing species: A comparison of three methods. *Theor. Applied Genetics*, 58 (1) : 33-38.
30. **Campbell N.A., 1980.** Shrunken estimators in discriminant and canonical variate analysis. *Applied Statistics*, 29 (1) : 5-14.
31. **Casler M.D., 1982.** Genotype x environment interaction bias to parent-offspring regression heritability estimates. *Crop Science*, 22 (3) : 540-542.
32. **Castle W.E., Wright S.A., 1921.** An improved method of estimating the number of genetic factors concerned in cases of blending inheritance. *Science N.S*, 54 : 233-233.
33. **Cavalli L.L., 1952.** An analysis of linkage in quantitative inheritance. In : *Quantitative Inheritance*. H M S O, London (GBR), Reeve & Waddington (eds), p.135-144.
34. **Ceccarelli S., 1989.** Wide adaptation: How wide ? *Euphytica*, 40 : 197-205.
35. **Ceccarelli S., Acevedo E., Grando S., 1991.** Breeding for yield stability in unpredictable environments: single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes. *Euphytica*, 56 : 169-185.
36. **Ceccarelli S., Grando S., 1991.** Selection environment and environmental sensitivity in barley (*Hordeum vulgare*). *Euphytica*, 57 : 157-167.
37. **Ceccarelli S., Grando S., Hamblin J., 1992.** Relationship between barley grain yield measured in low- and high-yielding environments. *Euphytica*, 64 (1) : 49-58.
38. **Chapman S.R., Hockett E.A., 1976.** Gene effects for resistance to kernel shattering in a barley cross. *Crop Science*, 16 (6) : 773-774.
39. **Chioy H.Y., Wynne J.C., 1983.** Heritabilities and genetic correlations for yield and quality traits of advanced generations in a cross of peanut. *Peanut Science*, 10 (1) : 13-17.
40. **Christie B.R., Shattuck V.I., 1992.** The diallel cross: Design, analysis, and use for plant breeders. *Plant Breeding*, 9 (1) : 9-36.
41. **Chu Q.R., Croughan T.P., 1990.** Genetics of plant regeneration in immature panicle culture of rice. *Crop Science*, 30 (6) : 1194-1197.
42. **Clarke J.M., 1987.** Use of physiological and morphological traits in breeding programmes to improve drought resistance of cereals. In : *Drought tolerance in winter cereals*. New York (USA), Srivastava J.P. (ed) , p. 171-190. Wiley Interscience Pub.

43. Coffelt T.A., Hammons R.O., 1974. Correlation and heritability studies of nine characters in parental and infraspecific-cross populations of *Arachis hypogaea*. *Oléagineux*, 29 (1) : 23-28.
44. Cowen N.M., 1986. Selection theory for selfed progenies. *Theor. Applied Genetics*, 73 : 182-189.
45. Dagnélie P., Merckx A., 1991. Using generalized distances in classification of groups. *Biometrics J.*, 33 (6) : 683-695.
46. Dancette C., 1979. Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau en zone Soudano-sahélienne. *L'Agronomie Tropicale*, 34 (4) : 331-335.
47. Dancette C., Forest F., 1982. Simulation du bilan hydrique de l'arachide en vue d'une meilleure adaptation de cette culture aux conditions tropicales. Symposium sur la production arachidière, le marché mondial des oléagineux, les échanges intra-Africains de l'arachide et ses dérivés. Banjul (GMB), 1982/06/07-11.
48. Darwin C., 1859. On the origin of species by means of Natural selection or preservation of favored races in the struggle for life. London (GBR), Murray J. (ed)
49. Das P.K., 1978. Genetic estimates, correlations, path-coefficients and the implication of discriminant function for selection in black gram (*Phaseolus mungo* L.). *Indian Agriculture*, 22 (4) : 227-236.
50. Demarly Y., 1988. Efficacité comparée de diverses méthodes de sélection chez les légumineuses autogames. In : *Les Légumineuses à graines*. Séminaire F.I.S Antananarivo (MDG), 1988/02/22-27. Versailles (FRA), ed. Demarly, p. 97-111.
51. Denis J.B., Vincourt P., 1982. Panorama des méthodes statistiques d'analyse des interactions génotype x milieu. *Agronomie*, 2 (3) : 219-230.
52. Denis J.C., Adams M.W., 1978. A factor analysis of plant variables related to yield in dry beans. I. Morphological traits. *Crop Science*, 18 (1) : 74-78.
53. Dewey D.R., Lu K.H., 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. *Agronomy J.*, 51 (9) : 515-518.
54. Diagne S.B., Le Moine G., Ndiaye P., 1989. Etude prospective " SENEGAL 2015 ". Dakar (SEN), Min. Plan & Coopération, 234 p.
55. Dolan D.J., Stuthman D.D., 1993. Multiple trait selection in a recurrent selection population in oat. *Agronomy Abstracts*, 85 : 87-87.
56. Doligez A., 1992. Analyse des composantes de la variance génétique dans des populations d'hybrides interspécifiques d'Eucalyptus. D.E.A. "Ress Genet Amel Plant", Inst Natl Agro/Paris-Grignon, , 48+8 p.
57. Duarte R.A., Adams M.W., 1972. A path coefficient analysis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science*, 12 (5) : 579-582.

58. Ducrocq V., 1990. Les techniques d'évaluation génétique des bovins laitiers. INRA Prod. Animales, 3 (1) : 3-16.
59. Dudley J.W., Moll R.H., 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. Crop Science, 9 (3) : 257-262.
60. Dwivedi S.L., Jambunathan R., Nigam S.N., Raghunath K., Shankar K.R., 1990. Relationship of seed mass to oil and protein contents in peanut (*Arachis hypogaea* L.). Peanut Science, 17 (2) : 48-52.
61. Eagles H.A., Frey K.J., 1974. Expected and actual gains in economic value of oat lines from five selection methods. Crop Science, 14 : 861-864.
62. Eberhart S.A., Russel W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6 (1) : 36-40.
63. Ecochard R., Huet J., 1961. Contribution à l'étude de la génétique quantitative chez une plante autogame: Le blé. I. Principes fondamentaux. Ann Amél Plantes, 11 (1) : 25-59.
64. Edwards H.L., Ketata H., Smith E.L., 1976. Gene action of heading date, plant height, and other characters in two winter wheat crosses. Crop Science, 16 (2) : 275-277.
65. El Hosary A.A., Nawar A.A., 1984. Gene effects in field beans (*Vicia faba* L.). II. Earliness and maturity. Egypt. J. Genet. Cytology, 13 (1) : 109-119.
66. Elgin jr J.H., Hill jr R.R., Zeiders K.E., 1970. Comparison of four methods of multiple trait selection for five traits in alfalfa. Crop Science, 10 : 190-193.
67. Fall C.A., 1992. Développement d'un index de sélection pour l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) physiologiquement adaptée à la sécheresse. D.E.A. "Res Genet Amel Plant", Inst Natl Agro/Paris-Grignon, , 11+52 p.
68. Finlay K.W., Wilkinson G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Austr. J. Agric. Research, 14 : 742-754.
69. Fletcher S.M., Ping Zhang, Carley D.H., 1992. Groundnuts: Production, utilization and trade in the 1980s. In : Proceedings of an international workshop. Groundnut: A global perspective, Nigam S.N. Edit. Patancheru (IND), 1991/11/25-29. Patancheru (IND), ICRISAT, p. 17-32.
70. Foolad M.R., Jones R.A., 1992. Parent-offspring regression estimates of heritability for salt tolerance during germination in tomato. Crop Science, 32 (2) : 439-442.
71. Fox P.N., Rosielle A.A., 1982. Reducing the influence of environmental main-effects on pattern analysis of plant breeding environments. Euphytica, 31 : 645-656.
72. Frey K.J., 1959. The relation between environmental and genetic variances for heading dates and plant heights in oats. Agronomy J., 51 (9) : 545-546.
73. Frey K.J., 1964. Adaptation reaction of oat strains selected under stress and non-stress environmental conditions. Euphytica, 40 : 55-58.

74. Frey K.J., Horner T., 1957. Heritability in standard units. *Agronomy J.*, 84 (2) : 59-62.
75. Gallais A., 1973. Sélection pour plusieurs caractères. Synthèse critique et généralisation. *Ann. Amélioration Plantes*, 23 (3) : 183-208.
76. Gallais A., 1977a. Amélioration des populations, méthodes de sélection et création de variétés. I.-Synthèse sur les problèmes généraux et sur les bases théoriques pour la sélection récurrente intra-population. *Ann. Amélioration Plantes*, 27 (3) : 281-329.
77. Gallais A., 1977b. Amélioration de l'efficacité des schémas de sélection récurrente. *Ann. Amélioration Plantes*, 27 (4) : 477-481.
78. Gallais A., 1978a. Amélioration des populations, méthodes de sélection et création de variétés. II.-Le concept de valeur variétale de génotypes et ses conséquences pour la sélection récurrente. *Ann. Amélioration Plantes*, 13 (7) : 269-287.
79. Gallais A., 1978b. Quelques réflexions sur les modèles actuels de la génétique quantitative et leur place en amélioration des plantes. *Ann. Amélioration Plantes*, 28 (2) : 141-148.
80. Gallais A., 1979. Le concept de valeur en lignée d'un génotype et son utilisation possible en sélection. *Ann. Amélioration Plantes*, 29 (1) : 1-22.
81. Gallais A., 1980. sélection combinée et plan de croisements en amélioration des plantes. I. Eléments théoriques pour quelques plans équilibrés. *Ann. Amélioration Plantes*, 30 (4) : 411-441.
82. Gallais A., 1991. Adaptation et adaptabilité en amélioration des plantes. In : Journée de l'A S F. Valorisation des intrants en agriculture, Association des Sélectionneurs Français Edit. Paris (FRA), 1991/02/23-23. , p. 1-29.
83. Gallais A., 1993. Efficiency of recurrent selection methods to improve the line value of a population. *Plant Breeding*, 111 (1) : 31-41.
84. Gallais A., Vincourt P., Bertholleau J.C., 1983. Etude de critères de sélection chez le maïs fourrage: Héritabilités, corrélations génétiques et réponse attendue à la sélection. *Agronomie*, 3 (8) : 751-760.
85. Gamble E.E., 1962. Gene effects in corn (*Zea mays* L.): II. Relative importance of gene effects for plant height and certain component attributes of yield. *Can. J. Plant Science*, 42 : 349-358.
86. Gardner C.O., Eberhart S.A., 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related population. *Biometrics*, 22 : 435-452.
87. Garet B., 1976. Hétérosis et aptitudes à la combinaison chez l'arachide (*Arachis hypogaea* L.). *Oléagineux*, 31 (10) : 435-442.
88. Gavrilets S., Scheiner S.M., 1993a. The genetics of phenotypic plasticity. V. Evolution of reaction norm shape. *J. Evolution Biology*, 6 (1) : 31-48.
89. Gavrilets S., Scheiner S.M., 1993b. The genetics of phenotypic plasticity. VI. Theoretical predictions for directional selection. *J. Evolution Biology*, 6 (1) : 49-68.

90. **Gaye M., 1992.** Les producteurs d'arachide face au problème d'approvisionnement en semences: le cas du Sénégal. *Arachide Infos* (4) : 15-17.
91. **Gning M., 1991.** Contribution à l'élaboration d'un itinéraire technique: Cas de l'implantation d'une nouvelle variété d'arachide à cycle très court dans la région Nord du Sénégal. Diplôme d'Ingénieur des Travaux Agricoles, ENCR/Bambey, 38 p.+10 ann.
92. **Godshalk E.B., Timothy D.H., Burns J.C., 1988.** Application of multistage selection indices to crop improvement. *Crop Science*, 28 (1) : 23-26.
93. **Grafius J.E., 1978.** Multiple characters and correlated response. *Crop Science*, 18 (6) : 931-934.
94. **Green C.C., Wynne J.C., Beute M.K., 1983.** Genetic variability and heritability estimates based on the F2 generation from crosses of large-seeded Virginia type peanuts with lines resistant to *Cylindrocladium* black rot. *Peanut Science*, 10 (1) : 47-51.
95. **Griffing B., 1956.** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biological Science*, 9 : 463-493.
96. **Gumber R.K., Chahal G.S., Singh T.H., 1983.** Genetical analysis of an intermating population in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Coton Fib. Tropicales*, 38 (4) : 329-333.
97. **Hadjichristodoulou A., 1989.** Environmental correlations among grain yield and other important traits of wheat in drylands. *Euphytica*, 44 : 143-150.
98. **Halward T., Wynne J.C., 1992.** Progress and variability after four cycles of recurrent selection in peanut. *Peanut Science*, 19 (1) : 20-24.
99. **Halward T.M., Wynne J.C., 1991.** Generation means analysis for productivity in two diverse peanut crosses. *Theor. Applied Genetics*, 82 (6) : 784-792.
100. **Hamblin J., Fisher H.M., Ridings H.I., 1980.** The choice of locality for plant breeding when selecting for high yield and general adaptation. *Euphytica*, 29 : 161-168.
101. **Hamid Z.A., Grafius J.E., 1978.** Developmental allometry and its implication to grain yield in barley. *Crop Science*, 18 (1) : 83-86.
102. **Haque M.M., Mackill D.J., Ingram K.T., 1992.** Inheritance of leaf epicuticular wax content in rice. *Crop Science*, 32 (4) : 865-868.
103. **Hayman B.I., 1954.** The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, 39 : 789-809.
104. **Hayman B.I., 1958.** The separation of epistatic from additive and dominance variation in generation means. *Heredity*, 12 : 371-390.
105. **Hazel L.N., 1943.** The genetic bases for constructing selection indexes. *Genetics*, 28 : 476-490.
106. **Hazel L.N., Lush J.L., 1942.** The efficiency of three methods of selection. *Genetics*, 43 : 393-399.

107. **Henderson C.R., 1975.** Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics*, 31 : 423-447.
108. **Henderson C.R., 1977.** Best linear unbiased prediction of breeding values not in the model for records. *J. Dairy Science*, 60 : 783-787.
109. **Holbrook C.C., 1990.** Utility of early generation diallel analysis for predicting parental potential for yield and yield components in peanuts. *Peanut Science*, 17 (1) : 9-11.
110. **Holbrook C.C., Kvien C.S., Branch W.D., 1989.** Genetic control of peanut maturity as measured by the hull-scrape procedure. *Oléagineux*, 44 (7) : 359-364.
111. **Huet J., Ecochard R., 1961.** Contribution à l'étude de la génétique quantitative chez une plante autogame: Le blé. II. Application expérimentale. *Ann Amél Plantes*, 11 (1) : 61-98.
112. **Iroume R.N., Knauff D.A., 1987.** Heritabilities and correlations for pod yield and leafspot resistance in peanut (*Arachis hypogaea* L.): Implications for early generation selection. *Peanut Science*, 14 (1) : 46-50.
113. **Itoh Y., Yamada Y., 1990.** Relationships between genotype x environment interaction and genetic correlation of the same trait measured in different environments. *Theor. Applied Genetics*, 80 (1) : 11-16.
114. **Jinks J.L., Jones R.M., 1958.** Estimation of the components of heterosis. *Genetics*, 43 : 223-234.
115. **Johnson G.R., 1973.** Diallel analysis of leaf area heterosis and relationships to yield in maize. *Crop Science*, 13 (2) : 178-180.
116. **Johnson G.R., 1974.** Predictions of GCA model estimates of total leaf area and leaf area distribution from leaf area of parentals inbreds. *Crop Science*, 14 (1) : 44-46.
117. **Johnson G.R., Frey K.J., 1967.** Heritabilities of quantitative attributes of oats (*Avena* sp.) at varying levels of environmental stress. *Crop Science*, 7 (1) : 43-46.
118. **Kaiser H.F., 1958.** The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23 : 187-200.
119. **Kassem E.S., El Morshidy M.A., Khalifa M.A., Younis F.G., 1981.** Genetical analysis of some agronomic characters in cotton. 1.- Earliness. *Agric. Research Review*, 59 (9) : 57-67.
120. **Kearsey M.J., Pooni H.S., 1992.** The potentiel of inbred lines in the presence of heterosis. p. 371-386. *Reproductive biology and Plant breeding*. Anger (FRA), 1992/07/06-11. Gif/yvette (FRA), Dattee, Dumas, Gallais (eds), 455 p.
121. **Keim D.L., Kronstad W.E., 1979.** Drought resistance and dryland adaptation in winter wheat. *Crop Science*, 19 (5) : 574-576.

122. **Kervella J., Goldringer I., Brabant P., 1991.** Sélection récurrente chez les autogames pour l'amélioration des variétés lignées pures: Une revue bibliographique. *Agronomie*, 11 (5) : 335-352.
123. **Khalfaoui J.L.B., 1985.** Conduite de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse en fonction de ses mécanismes physiologiques. *Oléagineux*, 40 (6) : 329-334.
124. **Khalfaoui J.L.B., 1988.** Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées en zones semi-arides. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) destinée à la région sèche du Sénégal. Thèse Doc. "Sciences de la Vie", Univ. Paris XI, , 297 p.
125. **Khalfaoui J.L.B., 1990a.** Etude des composantes de la précocité chez l'arachide. *Oléagineux*, 45 (2) : 81-87.
126. **Khalfaoui J.L.B., 1990b.** Héritéité de la précocité extrême dans le cas d'un croisement entre deux variétés d'arachide Spanish. *Oléagineux*, 45 (10) : 419-436.
127. **Khalfaoui J.L.B., 1991a.** Inheritance of seed dormancy in a cross between two Spanish peanut cultivars. *Peanut Science*, 18 (2) : 65-67.
128. **Khalfaoui J.L.B., 1991b.** Determination of potential lengths of the crop growing period in semi-arid regions of Senegal. *Agric. Forest Meteorology*, 55 : 251-263.
129. **Khalfaoui J.L.B., Annerose D.J.M., 1986.** Création variétale d'arachide adaptée aux contraintes pluviométriques des zones semi-arides. In : *Proceedings of an Internatl Symposium. Agrometeorology of groundnut*, ICRISAT Sahelian Center Edit. Niamey (NER), 1985/08/21-26. ICRISAT, p. 127-134.
130. **Knapp S.J., Stroup W.W., Ross W.M., 1985.** Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. *Crop Science*, 25 (2) : 192-194.
131. **Kotecha A., Zimmerman L.H., 1978.** Inheritance of seed weight, pappus and striped hull in safflower species. *Crop Science*, 18 (6) : 999-1003.
132. **Kullback S., 1967.** On testing correlation matrices. *Applied Statistics*, 16 : 80-85.
133. **Lachenbruch P.A., 1968.** On expected probabilities of misclassification in discriminant analysis, necessary sample size, and a relation with the multiple correlation coefficient. *Biometrics*, 24 : 823-834.
134. **Laloë D., 1993.** Precision and information in linear models of genetic evaluation. *Genetics Selection Evol.*, 25 (6) : 557-576.
135. **Lançon J., Bachelier B., Chanselme J.L., Dessauw D., 1992a.** Etude multilocale d'un diallele à quatre géniteurs d'élite sélectionnés au sein de réseau coton africain. I. - Variabilité des localités. *Coton Fibres Tropicales*, 47 (4) : 251-263.
136. **Lançon J., Bachelier B., Chanselme J.L., Dessauw D., 1992b.** Etude multilocale d'un diallele à quatre géniteurs d'élite sélectionnés au sein de réseau coton africain. II. - Variabilité parentale. *Coton Fibres Tropicales*, 47 (4) : 265-276.

137. Lawrence M.J., 1981. Multiple trait selection - A review. In : Quantitative genetics and breeding methods. Lusignan (FRA), Galais A. (ed) , p. 263-284. Proc. 4th Eucarpia meeting, section Biometrics in plant breeding - Poitiers.
138. Le Borgne J., 1988. La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. Dakar (SEN), Univ CA Diop/Dept Géographie, 94 p.
139. Leleji O.I., Dickson M.H., Crowder L.V., Bourke J.B., 1972. Inheritance of crude protein percentage and its correlation with seed yield in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Crop Science, 12 (2) : 168-171.
140. Little D.A., Riley J.A., Agyemang K., Jeannin P., Grieve A.S., Badji B., 1991. Effect of groundnut cake supplementation during the dry season on productivity characteristics of N'Dama cows under village husbandry conditions in The Gambia. Tropical Agriculture, 68 (3) : 259-262.
141. Liu B.H., Knapp S.J., 1990. Interval estimators for maximum likelihood and multivariate analysis of variance estimators of genetic correlation. Agronomy Abstracts, 82 : 98-98.
142. Lonnquist J.H., Compton W.A., Geadelmann J.L., Loeffel F.A., Shank B., 1979. Convergent-divergent selection for area improvement in maize. Crop Science, 19 : 602-604.
143. Mandel J., 1971. A new analysis of variance model for non-additive data. Technometrics, 13 (1) : 1-18.
144. Manès Y., 1986. Intêret de la sélection multicaractères par index et ses difficultés d'application. Etude des relations entre caractères dans une population de blé tendre et ses conséquences en sélection. D.E.A. "Ress Genet Amel Plant", INA/Paris Grignon, , 27+35 p.
145. Martin J.P., 1967. Contribution à l'étude de certains caractères d'importance agronomique chez l'arachide. Oléagineux, 22 (11) : 673-676.
146. Martin R.J., Wilcox J.R., 1973. Heritability of lowest pod height in soybeans. Crop Science, 13 (2) : 201-203.
147. Martinez O., Gomez D., Elizondo J., Arona M., Castro V., 1991. Identification of a selection index for drought tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Agronomy Abstracts, 83 : 130-130.
148. Michaels T.E., 1988. Effect of selection for emergence and maturity on yield of Ontario peanuts. Peanut Science, 15 (2) : 69-72.
149. Misevic D., Maric A., Alexander D.E., Dumanovic J., Ratkovic S., 1989. Population cross diallel among high oil populations of maize. Crop Science, 29 (3) : 613-617.
150. Mishra S.K., Maurya D.M., Vishwakarma D.N., 1991. Multi-trait selection during early generation in rice (*Oryza sativa*). Indian J. Agric. Science, 61 (9) : 623-628.

151. **Mohammed M., Wynne J.C., Rawlings J.O., 1978.** Early generation variability and heritability estimates in crosses of Virginia and Spanish peanuts. *Oléagineux*, 33 (2) : 81-86.
152. **Mortreuil J.C., 1993.** Une nouvelle variété d'arachide pour l'Afrique : Fleur 11. *Oléagineux*, 48 (2) : 99-102.
153. **Nagabhushanam G.V.S., Prasad M.V.R., 1992.** Selection criteria for groundnut (*Arachis hypogaea* L.) breeding. *Oléagineux*, 47 (1) : 23-27.
154. **Nigam S.N., Dwivedi S.L., Sigamani T.S.N., Gibbons R.W., 1984.** Character association among vegetative and reproductive traits in advanced generation of intersubspecific and intrasubspecific crosses in peanut. *Peanut Science*, 11 (2) : 95-98.
155. **Omara M.K., Hussain M.Y., 1988.** Genetic control of stomatal frequency in early maturing barley and its association with grain yield under moisture stress. *Assiut J. Agric. Science*, 19 (5) : 51-65.
156. **Panter D.M., Allen F.L., 1990.** Best linear unbiased prediction (BLUP) as a method to enhance breeding for yield in soybeans. *Agronomy Abstracts*, 82 : 103-103.
157. **Pesek J., Baker R.J., 1969.** Comparison of tandem and index selection in the modified pedigree method of breeding self-pollinated species. *Can. J. Plant Science*, 49 : 773-776.
158. **Pins (de) O., 1983.** Amélioration variétale de l'arachide et production de semences sélectionnées. *Oléagineux*, 38 (2) : 61-71.
159. **Pradhu K.V., Arunachalam V., Bandyopadhyay A., 1990.** Nonparametric approach to multitrait selection for yield in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Theor. Applied Genetics*, 80 : 223-227.
160. **Quimio C.A., Zapata F.J., 1990.** Diallel analysis of callus induction and green-plant regeneration in rice anther culture. *Crop Science*, 30 (1) : 188-192.
161. **Ranalli P., Ruaro G., Del Re P., 1991.** Response to selection for seed yield in bean (*Phaseolus vulgaris*). *Euphytica*, 57 : 117-123.
162. **Renard C., 1983.** Physiologie des relations hydriques. In. cours "Phytotechnie et physiologie des plantes de grande culture". Louvain Neuve (BEL), Univ Catholique de Louvain.
163. **Rosielle A.A., Hamblin J., 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21 (6) : 943-946.
164. **Rouvier R., 1969.** Calcul des index de sélection dans le cas d'individus consanguins et apparentés quelconques. *Ann. Genet. Selection Anim.*, 1 (1) : 67-70.
165. **Scheinberg E., 1966.** The sampling variance of the correlation coefficients estimated in the genetic experiments. *Biometrics*, 22 : 187-191.
166. **Scheiner S.M., Lyman R.F., 1991.** The genetics of phenotypic plasticity. II. Response to selection. *J. Evolution Biology*, 4 (1) : 23-50.

167. Schilling R., 1992. L'arachide dans le monde et en Afrique: quelques données économiques récentes. *Arachide Infos* (4) : 5-7.
168. Schlichting C.D., 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 17 : 667-693.
169. Schonfeld M.A., Johnson R.C., Carver B.F., Mornhinweg D.W., 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*, 28 (3) : 526-531.
170. Sénégal, 1982. VIème Plan Quadriennal de Développement Economique et Social (1 juillet 1981 - 31 juin 1985). Dakar (SEN), Min. Plan & Coopération, 421 p.
171. Sidwell R.J., Smith E.L., Mc New R.W., 1976. Inheritance and interrelationships of grain yield and selection yield related traits in a hard red winter wheat cross. *Crop Science*, 16 (5) : 650-654.
172. Singh D.P., 1989. Evaluation of specific dehydration tolerance traits for improvement of drought resistance. In : Drought resistance in cereals. 1. Crops. Breeding for efficient water use. Wallingford (GBR), Baker F.W.G. (ed) , p. 165-175. C.A.B. International Pub.
173. Singh J.S., Singh R.P., Singh H.L., 1977. Selection index as an effective aid in the improvement of grain yield in mung beans (*Phaseolus aureus* Roxb.). *Science and Culture*, 43 (3) : 125-127.
174. Singh O., Gowda C.L.L., Sethi S.C., Dasgupta T., Smithson J.B., 1992. Genetic analysis of agronomic characters in chickpea. I. Estimates of genetic variances from diallel mating designs. *Theor. Applied Genetics*, 83 (8) : 956-962.
175. Singh O., Paroda R.S., 1984. A comparison of different diallel analyses. *Theor. Applied Genetics*, 67 : 541-545.
176. Singh T.H., Quader M.A., Chahal G.S., 1983. Estimations des effets géniques sur certains caractères quantitatifs du cotonnier upland (*Gossypium hirsutum* L.). *Coton Fib. Tropicales*, 38 (4) : 319-322.
177. Smith H.F., 1936. A discriminant function for plant selection. *Ann. Eugenics*, 7 : 240-250.
178. Smith H.H., 1950. Fixing transgressive vigor in *Nicotiana rustica*. *Genetics*, 35 : 692-692.
179. Smith J.D., Kinman M.L., 1965. The use of parent-offspring regression as an estimator of heritability. *Crop Science*, 5 (6) : 595-596.
180. Sprague G.F., Tatum L.A., 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agronomy*, 34 : 923-932.
181. Turner N.C., 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In : Stress physiology in crop plants. New York (USA), Mussel & Staples (eds) , p. 343-372. Wiley Interscience Pub.

182. Uhr D.V., Murphy J.P., 1992. Heritability of oat mosaic resistance. *Crop Science*, 32 (2) : 328-331.
183. Ulrich J.F., Hawk J.A., Carroll R.B., 1990. Diallel analysis of maize inbreds for resistance to gray leaf spot. *Crop Science*, 30 (6) : 1198-1200.
184. Vieira Da Sylva J., 1988. Amélioration et physiologie de l'arachide en région semi-aride. In : Les Légumineuses à graines. Séminaire F.I.S Antananarivo (MDG), 1988/02/22-27. Versailles (FRA), ed. Demarly, p. 113-120.
185. Vincourt P., Dérieux M., Gallais A., 1984. Quelques méthodes de choix des génotypes à partir d'essais multilocaux. *Agronomie*, 4 (9) : 843-848.
186. Vincourt P., Gallais A., 1983. Sur la recherche de critères de sélection: La régression géno-phénotypique. *Agronomie*, 9 (7) : 827-830.
187. Vogel K.P., Gorz H.J., Haskins F.A., 1981. Heritability estimates for forage yield, in vitro dry-matter digestibility, crude protein, and heading date in Indiangrass. *Crop Science*, 21 (1) : 35-38.
188. Vogel K.P., Haskins F.A., Gorz H.J., 1980. Parent-progeny regression in Indiangrass: Inflation of heritability estimates by environmental covariances. *Crop Science*, 20 (5) : 580-582.
189. Walton P.D., 1972. Factor analysis of yield in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*, 12 (6) : 731-733.
190. Weaver D.B., Wilcox J.R., 1982. Heritabilities, gains from selection, and genetic correlations for characteristics of soybeans grown in two row spacings. *Crop Science*, 22 (3) : 625-629.
191. White T.L., Hodge G.R., 1991. Indirect prediction of genetic values. *Silvae Genetica*, 40 (1) : 20-28.
192. Williams J.H., Hildebrand G.L., Tattersfield J.R., 1978. The effect of weather and genotype x environment interaction on the yields of groundnuts (*Arachis hypogaea* L.). *Rhodesian J. Agric. Research*, 16 : 193-204.
193. Wong L.S.L., Baker R.J., 1986. Selection for time to maturity in spring wheat. *Crop Science*, 26 (6) : 1171-1175.
194. Wright S., 1934. The method of path coefficients. *Ann. Math. Statist.*, 5 : 161-215.
195. Wynne J.C., 1976. Evaluation of early generation testing in peanuts. *Peanut Science*, 3 (2) : 62-66.
196. Wynne J.C., Emery D.A., Rice P.W., 1970. Combining ability estimates in *Arachis hypogaea* L. II. Field performance of F1 hybrids. *Crop Science*, 10 (6) : 713-715.
197. Wynne J.C., Rawlings J.O., Emery D.A., 1975. Combining ability estimates in *Arachis hypogaea* L. III. F2 generation of intra- and intersubspecific crosses. *Peanut Science*, 2 (2) : 50-54.

198. Yamada Y., 1962. Genotype by environment interaction and genetic correlation of the same trait under different environments. *Japan J. Genetics*, 37 : 498-509.
199. Yamada Y., Itoh Y., Sugimoto I., 1988. Parametric relationships between genotype x environment interaction and genetic correlation when two environments are involved. *Theor. Applied Genetics*, 76 : 850-854.
200. Yang R.C., Baker R.J., 1991. Genotype x environment interactions in two wheat crosses. *Crop Science*, 31 (1) : 83-87.
201. Yates F., Cochran W.G., 1938. The analysis of groups of experiments. *J. Agric. Science*, 28 : 556-580.
202. Young S.S.Y., 1961. A further examination of the relative efficiency of three methods of selection for genetic gains under less-restricted conditions. *Genetics Research*, 2 : 106-121.
203. Zavala-García F., Bramel-Cox P.J., Eastin J.D., Witt M.D., Andrews D.J., 1992. Increasing the efficiency of crop selection for unpredictable environments. *Crop Science*, 32 (1) : 51-57.

Rapports consultés :

204. Annerose D.J.M., 1986. Physiologie de l'Arachide: Adaptation à la sécheresse. Rapport analytique. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 13 p. (2)
205. Anonyme, 1991. Pour une politique de production de semences personnelles. Dakar (SEN), Div Semences/Dir Agric/MDRH, 6 p.
206. Anonyme, 1992. Axes de réflexions et d'actions du Comité National Interprofessionnel de l'Arachide. Assemblée constitutive du C.N.I.A. Kaolack (SEN), 1992/06/01-02. Sonagraines, 7 p.
207. Anonyme, 1992. Résultats définitifs de la campagne agricole 1991-92. Dakar (SEN), Div Stat Agr/Dir Agric/MDRH, 41 p.
208. C.N.I.A, 1993. Note sur la gestion des semences: situation actuelle, propositions à court terme et perspectives. Dakar (SEN), C.N.I.A, 10 p.
209. Dancette C., 1981. Utilisation rationnelle des ressources en eau. Rapport analytique. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 108 p. (18)
210. Diagne S., 1989. Enquête sur les graines d'arachide décortiquées à usage de semences. Pour le compte de la D.P.C.S. , 83 p.
211. Fall C.A., 1993. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'Arachide - Synthèse des travaux réalisés de 1989 à 1992. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 20 p. (2)
212. Garet B., 1978. Amélioration variétale de l'Arachide d'huilerie. Rapport analytique 1977, 1ère & 2ème parties. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 141 p.

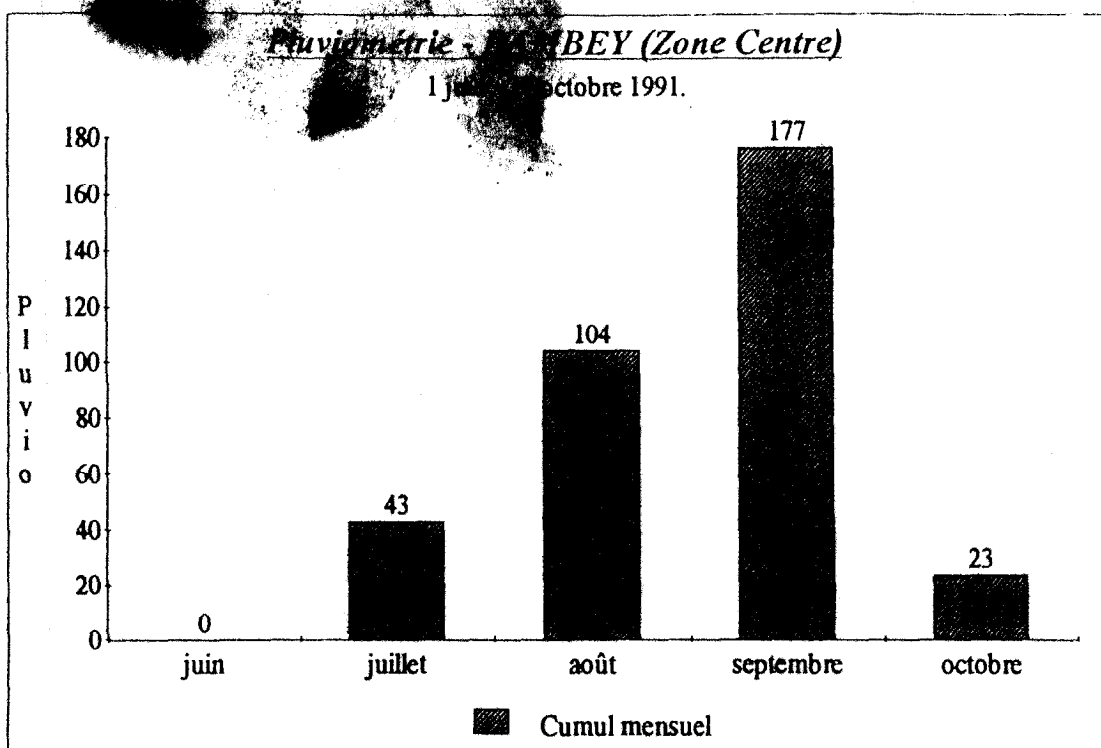
213. **Guégan R., 1983.** Production de semences de Pré-base. Rapport analytique. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 5 p.
214. **Khalfaoui J.L.B., 1992.** Amélioration variétale de l'Arachide d'huilerie: Adaptation à la sécheresse. Rapports analytiques de 1985 à 1991. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 99 p. (2-9)
215. **Khalfaoui J.L.B., Annerose D.J.M., 1985.** Amélioration variétale de l'Arachide d'huilerie: Adaptation à la sécheresse. Rapport analytique. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 10 p. (1)
216. **Khalfaoui J.L.B., Annerose D.J.M., 1988.** Amélioration variétale de l'Arachide d'huilerie: Adaptation à la sécheresse. Rapport final du contrat STD1-DGXII CCE/ISRA. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 51 p. (Rf1)
217. **Massaly F., 1994.** Le contrôle et la certification des semences: fonctions, enjeux et perspectives. In : Organisation et gestion des filières semences, P.A.S Edit. Bambey (SEN), 1994/01/05-06. p. 1-9.
218. **Mortreuil J.C., Khalfaoui J.L.B., 1987.** Amélioration génétique de l'arachide au Sénégal: Evolution, acquis et orientations des recherches. Réunion d'Evaluation du Programme Arachide. Bambey, 1987/01/19-22. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 34 p.
219. **Pins (de) O., 1983.** Amélioration variétale de l'Arachide d'huilerie. Rapports analytiques de 1978 à 1982. Bambey (SEN), ISRA/CNRA, 438 p.
220. **Sonko M., 1988.** Compte rendu des réunions spéciales de Comité régional de Développement tenues à Louga, Thiès et Diourbel. Annexe: Bilans de la Campagne Agricole 87/88 à Louga, Thiès et Diourbel. Bambey (SEN), ISRA/CNRA.

Ouvrages consultés :

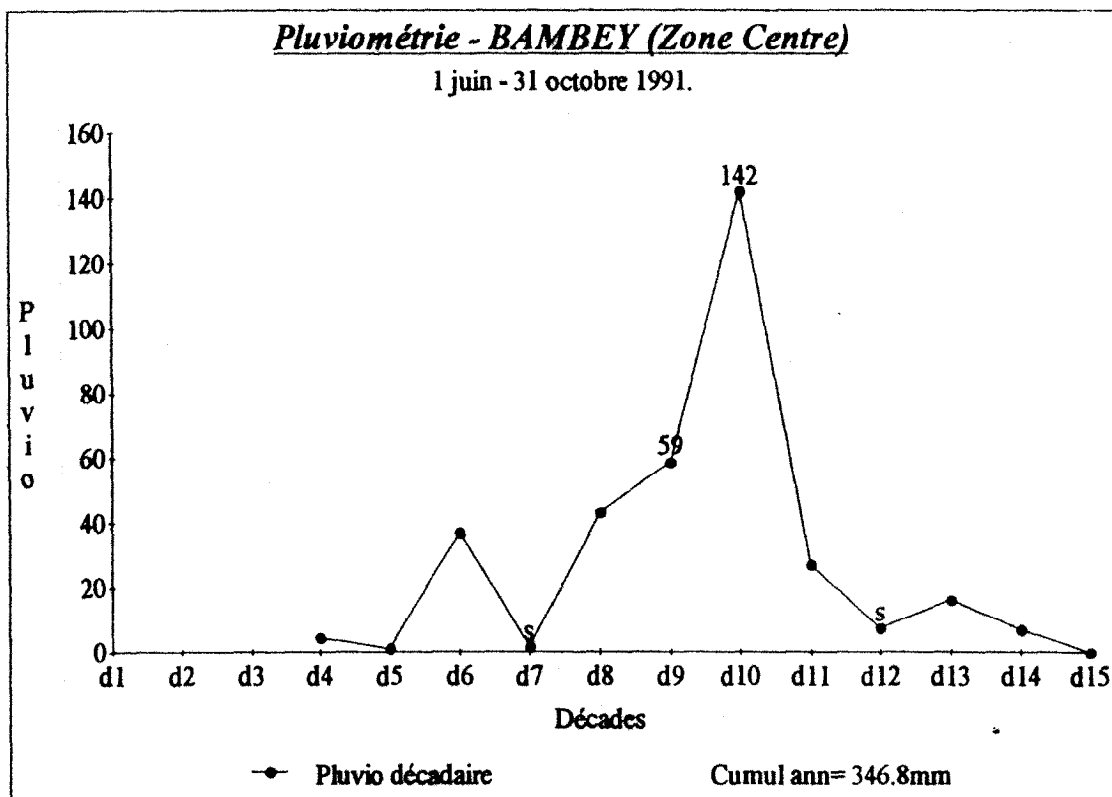
221. **Baker R.J., 1986.** Selection indices in plant breeding. Florida (USA), CRC Press, 281 p.
222. **Becker W.A., 1984.** Manuel of quantitative genetics. 4th edition. Washington DC (USA), Pullman, 170 p.
223. **Blum A., 1988.** Plant breeding for stress environments. Florida (USA), CRC Press, 223 p.
224. **Bulmer M.G., 1980.** The mathematical theory of quantitative genetics. Oxford (GBR), Clarendon Press, 251 p.
225. **Dagnélie P., 1986.** Analyse statistique à plusieurs variables. Gembloux (BEL), Duculot J., 362 p.
226. **Falconer D.S., 1961.** Introduction to quantitative genetics. 1st edition. Edinburgh (GBR), Oliver & Boyd, 365 p.
227. **Gallais A., 1990.** Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Paris (FRA), Masson, 588 p.

228. Lefebvre J., 1976. Introduction aux analyses multidimensionnelles. Paris (FRA), Masson, 219 p.
229. Lush J.L., 1945. Animal breeding plans. p120-147, 3rd edition. Ames (USA), Iowa State Univ Press, 443 p.
230. Mather K., Jinks J.L., 1982. Biometrical genetics. The study of the continuous variation. 3rd edition. London (GBR), Chapman & Hall, 396 p.
231. Ollivier L., 1981. Eléments de génétique quantitative. Paris (FRA), INRA Actual Sc & Agro, 152 p.
232. Piéri C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris (FRA), Minist. Coopération et CIRAD, 444 p.
233. Saporta G., 1990. Probabilités, analyse de données, statistique. Paris (F), Technip, 493 p.
234. White T.L., Hodge G.R., 1989. Predicting breeding values. with applications in forest tree improvement. Dordrecht (NLD), Kluwer Acad Pub, 367 p.

ANNEXES



Variabilité dans la pluviométrie mensuelle durant la saison humide 1991 et Mois les plus pluvieux.



Variation de la pluviométrie décadaire en 1991 et Périodes d'absence de précipitation (s) durant la saison. (En 2 décades, plus de la moitié du cumul annuel (15 décades) est enregistrée (201mm), montrant ainsi l'inégale répartition et la perte importante que cela représente pour la végétation).

Description of parental lines.

Cultivar	Botanical Variety	Cycle Length* (days)	Origin	Obtained by	Reaction to Drought
47-16	Virginia	120	India	Pedigree selection in a population	Resistant
57-422	Virginia	110	USA	Pedigree selection from a cross	Resistant
73-33	Virginia	105	USA	Pedigree selection from a cross	Resistant
59-127	Virginia	120	Burkina	Pedigree selection from a cross	Neutral
73-30	Spanish	95	Argentina & Burkina	Pedigree selection from a cross	Resistant
55-437	Spanish	90	Argentina	Pedigree selection in a population	Resistant
TS32-1	Spanish	90	USA	Pedigree selection from a cross	Resistant
79-40	Spanish	95	India		Neutral
68-111	Spanish	90	South-Africa		Susceptible
Chico	Spanish	75	URSS		
69-101	Virginia	125	Mali & Côte d'Ivoire	Back-cross	Susceptible
KH-149A	Spanish	90	Burkina & Côte d'Ivoire	Back-cross	Susceptible

* Cycle length in West Africa under adequate water supply during rainy season.

Caractéristiques des lignées parentales utilisées dans les études génétiques et dans les schémas de sélection.

GENERATION MEANS ANALYSIS

Gene cpts*	Models		
	HAYMAN, 1958	GAMBLE, 1962	JINKS & JONES, 1958
m	F2	F2	$4F2 + \frac{1}{2}P1 + \frac{1}{2}P2 - 2BC1 - 2BC2$
[d]	BC1-BC2	BC1-BC2	$\frac{1}{2}P1 - \frac{1}{2}P2$
[h]	$F1 - 4F2 - \frac{1}{2}P1 - \frac{1}{2}P2 + 2BC1 + 2BC2$	$F1 - 4F2 - \frac{1}{2}P1 - \frac{1}{2}P2 + 2BC1 + 2BC2$	$1\frac{1}{2}P1 + 1\frac{1}{2}P2 + 6BC1 + 6BC2 - 8F2 - F1$
[i]	$2BC1 + 2BC2 - 4F2$	$2BC1 + 2BC2 - 4F2$	$2BC1 + 2BC2 - 4F2$
[j]	$BC1 - \frac{1}{2}P1 + \frac{1}{2}P2 - BC2$	$BC1 - \frac{1}{2}P1 + \frac{1}{2}P2 - BC2$	$2BC1 - P1 + P2 - 2BC2$
[l]	$P1 + P2 + 2F1 + 4F2 - 4BC1 - 4BC2$	$P1 + P2 + 2F1 + 4F2 - 4BC1 - 4BC2$	$P1 + P2 + 2F1 + 4F2 - 4BC1 - 4BC2$

* Genetic components

Paramétrisation des modèles de Hayman (1958), Gamble (1962) et Jinks and Jones (1958) d'analyse des effets des gènes.

$$P1 = m + d + i$$

$$P2 = m - d + i$$

$$F1 = m + h - l$$

$$F2 = m + \frac{1}{2}h + \frac{1}{4}l$$

$$BC1 = m + \frac{1}{2}d + \frac{1}{2}h + \frac{1}{4}i + \frac{1}{4}j + \frac{1}{4}l$$

$$BC2 = m - \frac{1}{2}d + \frac{1}{2}h + \frac{1}{4}i - \frac{1}{4}j + \frac{1}{4}l$$

Estimation de la variance d'échantillonnage d'un coefficient de corrélation génétique (Scheinberg, 1966).

Estimé à partir de la formule suivante:

$$r_{G(x,y)} = \text{côv}(Gx,y) / \sqrt{[\text{vâr}(Gx) * \text{vâr}(Gy)]}$$

Les paramètres entrant dans la formule de la variance du Coefficient de Corrélation Génétique s'écrivent:

$$\text{vâr}(CM_G) = 2 CM_G^2 / (I-1) + 2 \quad (\text{de } x \text{ puis de } y)$$

$$\text{vâr}(PM_{Gxy}) = [(CM_{Gx} * CM_{Gy}) + (PM_{Gxy})^2] / (I-1) + 2$$

$$\text{côv}(CM_{Gx}, CM_{Gy}) = 2 (PM_{Gxy})^2 / (I-1) + 2$$

$$\text{côv}(CM_{Gx}, PM_{Gxy}) = 2 CM_{Gx} * PM_{Gxy} / (I-1) + 2$$

$$\text{côv}(CM_{Gy}, PM_{Gxy}) = 2 CM_{Gy} * PM_{Gxy} / (I-1) + 2$$

ce qui donne:

$$\begin{aligned} \text{vâr } r_{G(x,y)} = & r_{G(x,y)}^2 / J^2 [\text{vâr}(PM_{Gxy}) / \text{côv}(Gxy)^2] \\ & + \text{vâr}(CM_{Gx}) / 4 \text{vâr}(Gx)^2 \\ & + \text{vâr}(CM_{Gy}) / 4 \text{vâr}(Gy)^2 \\ & - \text{côv}(CM_{Gx}, PM_{Gxy}) / [\text{vâr}(Gx) * \text{côv}(Gx,y)] \\ & - \text{côv}(CM_{Gy}, PM_{Gxy}) / [\text{vâr}(Gy) * \text{côv}(Gx,y)] \\ & + \text{côv}(CM_{Gx}, CM_{Gy}) / [2 \text{vâr}(Gx) * \text{vâr}(Gy)] \end{aligned}$$

Matrice de Variance-Covariance Génétiques Inter-génération des caractères Agronomiques (a) et Physiologiques (p) des Individus dans Famille.

$\Sigma_{BS1_{Ua}}$								
$\Sigma_{BS1_{Uap}}$	$\Sigma_{BS1_{Up}}$							
Ö	Ö	$\Sigma_{WS1_{Ua}}$						
Ö	Ö	$\Sigma_{WS1_{Uap}}$	$\Sigma_{WS1_{Up}}$					
$\Sigma_{BS1S2_{Ua}}$	$\Sigma_{BS1S2_{Uap}}$	Ö	Ö	$\Sigma_{BS2_{Ua}}$				
$\Sigma_{BS1S2_{Uap}}$	$\Sigma_{BS1S2_{Up}}$	Ö	Ö	$\Sigma_{BS2_{Uap}}$	$\Sigma_{BS2_{Up}}$			
Ö	Ö	$\Sigma_{WS1S2_{Ua}}$	$\Sigma_{WS1S2_{Uap}}$	Ö	Ö	$\Sigma_{WS2_{Ua}}$		
Ö	Ö	$\Sigma_{WS1S2_{Uap}}$	$\Sigma_{WS1S2_{Up}}$	Ö	Ö	$\Sigma_{WS2_{Uap}}$	$\Sigma_{WS2_{Up}}$	

Schéma de Sélection Recurrente par *Index multigénération* pour l'adaptation à la sécheresse en tenant compte de *l'interaction génotype x milieu* (Fall, 1992).

75-50 57-238 58-650 59-14 53-68 70-112 Tatui XXXX

Plan pyramidal de croisements des 8 parents de la 2ème population (*SR2*)



P'0 **1° cycle**

Autofécondation

X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X



	f1	2	3	fn
'S1 Test	:	:	:	:
Agronomique	:	:	:	:



	f1	2	3	fn		f1	2	3	fn	
'S2 Tests	:	:	:	:		:	:	:	:	'S2 Test
Physiologiques	:	:	:	:		:	:	:	:	Agronomique
(2 lieux contrastés)	:	:	:	:		:	:	:	:	(2 lieux contrastés)

Index multistage

→ **2° cycle P'1**
Intercroisements avec génotypes issus de SR1



→ **Création Variétale**
Sélection Pedigree

STRATÉGIE DE SÉLECTION DE L'ARACHIDE ADAPTÉE À LA SÉCHERESSE.

PAR SÉLECTION RÉCURRENTÉ SUR INDEX MULTISTAGE:

1) Méthode de Sélection.

- 1.1. Nature des unités sélectionnées: Individus hiérarchisés dans la famille.
- 1.2. Critères de test: sur Descendances des familles S1 et S2.
- 1.3. Opérateurs tests: Agronomique (champ) et Physiologique (serres).
- 1.4. Nature des unités intercroisées: Individus S2 (plantes-mères).

2) Nature de l'Information Génétique.

- 2.1. Individus apparentés: Full-Sibs (*inbred*)
- 2.2. Individus de générations différentes: Parent-Offspring, Uncle-Nephew, Grandfather-Grandson.
- 2.3. Individus de même milieu ou de milieux différents: même régime hydrique (champ-serre); régimes hydriques différents (champ-champ et champ-serre).

3) Nature de l'Information Recueillie.

- 3.1. Idéotypes de sélection réalisables, selon le milieu de sélection.
- 3.2. Groupes de similitude à partir des marqueurs morfo-agronomiques.
- 3.3. Valeurs génétiques additives combinées individu-famille.
- 3.4. Valeurs d'index sur descendances combinées individu-famille pour la *sélection récurrente*, pour la valeur en lignées.
- 3.5. Valeurs d'index sur descendances de familles pour la *sélection pedigree*.
- 3.6. Distance génétique de Nei à partir des marqueurs moléculaires et nature des effets des gènes intra et inter-loci.

RESUME:

Après avoir réalisé une synthèse des travaux dans l'optique de montrer comment poursuivre de manière plus efficiente l'amélioration génétique de l'arachide, nous avons préconisé une démarche ayant deux niveaux :

- une analyse pluridisciplinaire ;
- puis la construction d'un index de sélection .

L'approche pluridisciplinaire dans le cadre d'une sélection récurrente pour une adaptabilité générale a permis: (1) une parfaite compréhension des inter-relations qui conditionnent le progrès sur les valeurs génétiques additives de la plante entière devant être cumulées à chaque cycle de sélection; (2) la création d'idéotype de sélection ou groupes de critères agronomiques et physiologiques en fonction du régime hydrique; (3) la création de groupes de similitude ou groupes de performance selon le régime hydrique qui serviront à interpréter les distances génétiques qui existent dans le choix réalisé après troncature sur l'index de sélection, pour un parfait contrôle de l'évolution de la variabilité génétique .

L'utilisation du puissant outil de sélection qu'est la méthodologie BLUP (Best Linear Unbiased Predictor), qui tire profit des relations entre apparentés intra-génération et inter-génération et combine les différents groupes de critères issus de l'analyse canonique, conduit à l'estimation de l'héritabilité au sens multivariable et à la prédiction la plus exacte possible des valeurs génétiques additives de la descendance. Cette héritabilité ou critère de qualité de la prédiction nous permet de choisir les caractères devant entrer dans l'index.

L'ultime étape de notre démarche qui maximise la probabilité de réussite, est la construction de l'index de sélection multigénération qui utilise les valeurs génétiques additives combinées des individus et de leur descendance prédites par le BLUP. Suite aux pondérations accordées, cet index fournit le meilleur classement des individus S₂ que l'on pourrait obtenir et la réponse optimale à la sélection après troncature sur l'index pour chacun des caractères pris en compte.

Enfin, l'utilisation du génie génétique (*marqueurs moléculaires*) permet de préciser les bases génétiques de l'adaptation et d'estimer la distance génétique de Nei au niveau de la population. Cela conduit à un choix des fondateurs qui maximisent la variation génétique de la population source.

Mot-clés: *Arachis hypogaea*; adaptation à la sécheresse; interaction génotype x milieu; approche pluridisciplinaire; méthodologie BLUP; index de sélection multigénération; sélection récurrente; progrès génétique optimal; marqueurs moléculaires; arachide.

SUMMARY:

After a synthesis of work previously done, in order to show how to continue more efficiently the peanut breeding program, we have adopted a process with two stages:

- a pluridisciplinary analysis;
- and by selection index theory.

The pluridisciplinary approach of a recurrent selection scheme for general adaptability has allowed: (1) a better understanding of interrelations which allow progress on the additive genetic values of the whole plant that can be accumulated during each selection cycle; (2) the creation of ideotypes or groups of agronomic and physiological criteria according to the water regime; (3) the creation of similitude groups or performance groups according to water regime which serve to interpret the existing genetic distances after truncation of the selection index, for a greater control of the evolution of genetic variability.

The use of the strong selection tool, the BLUP (Best Linear Unbiased Predictor) method, which exploits the information between an individual and their relatives in the same generation and between generations and integrates the different groups of criteria generated from the canonical analysis, leads to the estimation of multivariable heritability and in the accurate prediction of additive genetic values of the progeny. This heritability or quality criterion of the prediction allows us to choose the traits to be used in the index.

The final step in our process which increases the probability of success and reduces research costs is the development of a multistage index selection that uses the combined individual and progeny additive genetic values predicted by the BLUP. Following the given weights, this index method gives the best possible ranking of S2 individuals and the optimal selection response after truncation for each of the chosen traits.

And furthermore the use of genetic engineering (*molecular markers*) to define accurately genetic basis for adaptation and Nei's genetic distance between genotypes permit us to select parental material in order to maximize genetic variation.

Key words: *Arachis hypogaea*; drought adaptation; genotype x environment interaction; pluridisciplinary approach; BLUP methodology; two-stage index selection; recurrent selection; optimal selection gain; molecular markers; peanut.
