

AGRISK

Observations quantitatives sur les risques dans
l'approvisionnement alimentaire sur le
Plateau Mossi, Burkina Faso

Schweigman, C., T.A.B. Snijders,
J. van Andel, M. van Noordwijk



AGRISK

Observations quantitatives sur les risques dans
l'approvisionnement alimentaire sur le
Plateau Mossi, Burkina Faso

Schweigman, C., T.A.B. Snijders,
J. van Anandel, M. van Noordwijk



RUG

Rijksuniversiteit
Groningen
Nederland



Mots clés: Moyenne et écart-type des rendements, déficit céréalier, réduction des risques, loi de probabilité de la production céréalière, monoculture, culture mixte, corrélation, diversité et stabilité.

Ce rapport est une coédition des universités de Ouagadougou et de Groningen: par le projet CEDRES/AGRISK, Centre d'Etudes, de Documentation et de Recherche Economique et Sociales, B.P. 7021, Ouagadougou, Burkina Faso et par le projet AGRISK, Bureau de Coopération Internationale, B.P. 72, 9700 AB Groningen, Nederland (Pays-Bas).

Traduit du néerlandais par Mme Aukje J. WINSEMIUS

- © C. Schweigman, Groningen 1988
- T.A.B. Snijders, Groningen, 1988
- J. van Andel, Groningen, 1988
- M. van Noordwijk, Groningen, 1988

ISBN 90 367 0159 7

AGRISK

**OBSERVATIONS QUANTITATIVES SUR LES RISQUES
DANS L'APPROVISIONNEMENT ALIMENTAIRE
DU PLATEAU MOSSI**

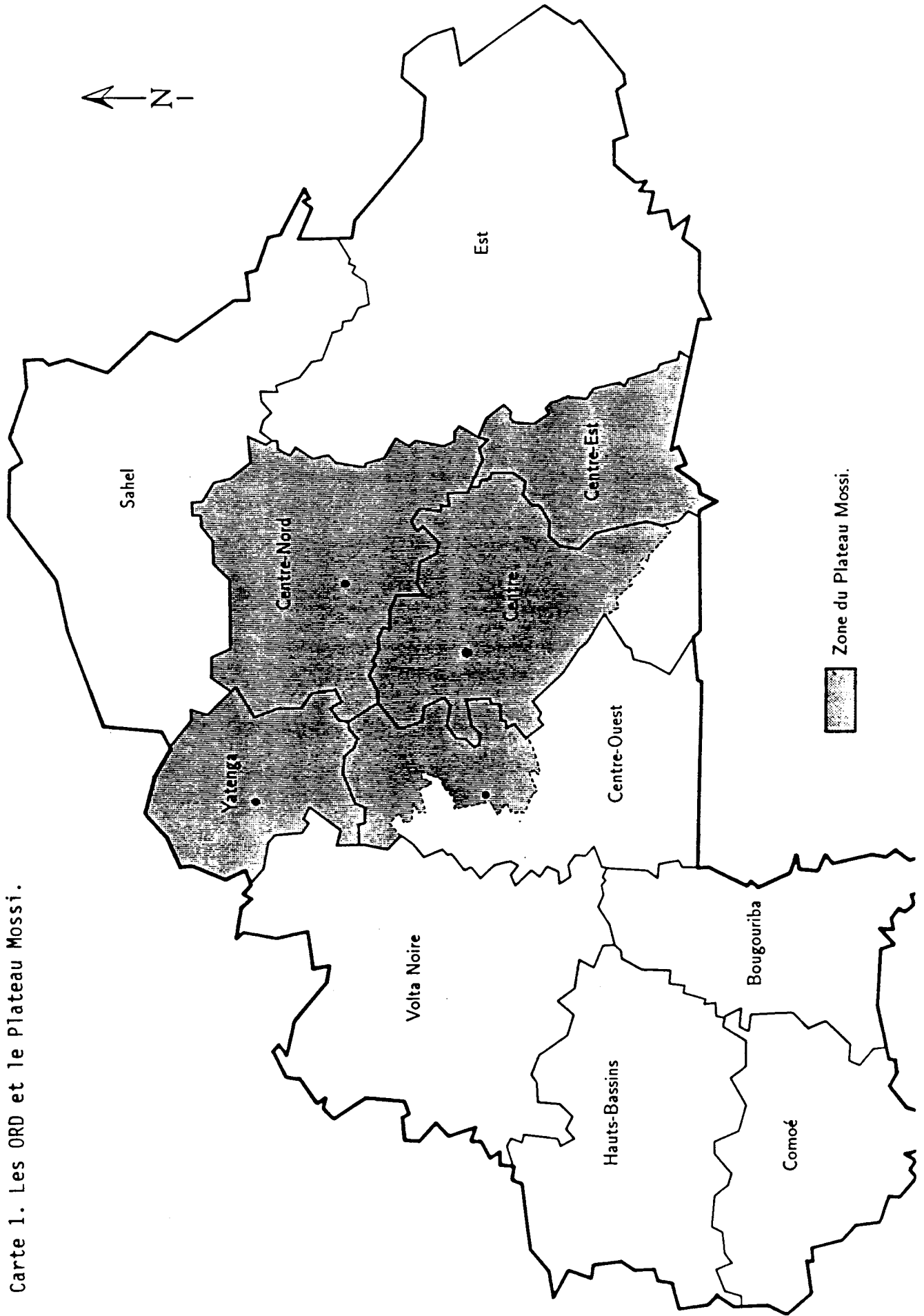
Caspar SCHWEIGMAN, Tom SNIJDERS, Jelte VAN ANDEL
et Meine VAN NOORDWIJK

Rapport présenté au Conseil Consultatif du Programme
CEDRES/AGRISK; réunion du 12 septembre 1988, La Haye, Pays-Bas.
Version révisée novembre 1988.

TABLE DES MATIERES

SUMMARY	5
1 INTRODUCTION	7
2 ESTIMATION DES RISQUES FONDEE SUR DES DONNEES AGRICOLES	11
3 MOYENNE ET ECART-TYPE DES RENDEMENTS ESTIMES A L'AIDE DE MODELES DE CROISSANCE VEGETALE ET DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES	27
4 DIVERSITE DE SYSTEMES AGRICOLES: UNE METHODE POUR REDUIRE LES RISQUES; APPLICATION NOUVELLE DE MODELES DE CROISSANCE VEGETALE	29
4.1 Introduction	29
4.2 Evaluation comparative de la diversité des populations végétales naturelles et agricoles	32
4.3 Risques de production dans les systèmes de culture composée	38
4.4 Application de modèles de croissance végétale	50
4.5 Résumé et possibilités pour études ultérieures	61
5 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	55
6 PUBLICATIONS DU PROJET CEDRES/AGRISK	67

Carte 1. Les ORD et le Plateau Mossi.



SUMMARY

Quantitative estimates of risks of food grain shortage are given for the Plateau Mossi in Burkina Faso and its sub-regions (ORD). These estimates are based on agricultural statistics collected in Burkina Faso and on consumption requirements. The risks are expressed in terms of the probability distribution of the deficit or surplus in food grain availability. For the Mossi Plateau, the expected shortage in food grain (275.000 tonnes) is large compared to the standard deviation of this shortage (55.000 tonnes). A sketch is given of a method to improve estimates from agricultural statistics by using crop-yield models.

Next, the impact of agricultural diversity on risks is discussed. The standard deviation of the total yield of a combination of two crops depends not only on the standard deviation of the yields of each of the crops, but also on their correlation. Risk reduction farm level does not follow directly from choosing components (e.g., cultivars) with low variability, but depends also on the correlation between the components. Diversity reduction vs. risk reduction is discussed on the basis of simulated yields of sorghum varieties, and related to the ecological niche concept.

1 INTRODUCTION

Le présent rapport contient quelques observations, exprimées en termes quantitatifs, sur les risques dans l'approvisionnement alimentaire dans quelques provinces du Plateau Mossi.

Ce rapport fait partie d'une série de rapports faits dans le cadre du programme de recherche interdisciplinaire AGRISK ou CEDRES/AGRISK sur les risques dans l'approvisionnement alimentaire de régions tropicales semi-arides, un programme de coopération du Centre d'Etudes, de Documentation, de Recherches Economiques et Sociales, CEDRES, de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso, et de l'Université de Groningen, Pays-Bas.

Effectuée au Burkina Faso, la recherche est concentrée sur les risques dans l'approvisionnement de sorgho et de mil dans quelques provinces situées sur le Plateau Mossi.

Dans le programme de recherche CEDRES/AGRISK, les méthodes pour réduire ces risques sont distinguées en trois groupes:

- a) méthodes pour fournir des vivres supplémentaires en cas de l'échec des récoltes du sorgho et du mil;
- b) méthodes pour réduire les risques de production insuffisante;
- c) méthodes pour améliorer l'accès à l'offre des vivres.

Seront abordées dans ce rapport des questions reliées aux méthodes mentionnées sous a) et b).

Les méthodes sous a), mesures d'urgence pour éviter une famine, se rapportent par exemple aux thèmes suivants:

- les réserves de sécurité: la gestion et l'organisation de la distribution; le rôle de l'Office National des Céréales (OFNACER) et des banques de céréales;
- les endroits où il faudrait installer les stocks de sécurité pour augmenter l'efficacité des interventions en cas de disette, compte tenu de la déficience de l'infrastructure (routes et moyens de transport);
- l'intégration éventuelle de l'aide alimentaire dans l'organisation et la gestion des stocks de sécurité.

Les méthodes sous b), mesures visant à la réduction du risque de récoltes insuffisantes, se rapportent entre autres au choix des variétés de sorgho et de mil et aux dates de semis.

Dans ce rapport sera présentée une étude quantitative des risques. Pour déterminer les risques, deux critères seront appliqués (voir le rapport sur la structure du projet AGRISK: SCHWEIGMAN, 1987):

- (1) - la probabilité d'un manque céréalier
- (2) - l'ampleur prévue de ce manque.

Dans le chapitre 2, nous discuterons de façon plus détaillée les quantités de (1) et de (2); seront estimées pour quelques régions du Plateau Mossi les valeurs de (1) et de (2), à base de données agricoles (superficies emblavées, rendements céréaliers), du taux de croissance démographique et de l'estimation de la demande céréalière par tête par an. Nous approfondirons les changements systématiques au cours du temps, les différences spatiales, la fiabilité des données utilisées et celle de l'estimation de (1) et de (2).

L'estimation des risques est étroitement liée à l'estimation de la loi de probabilité des rendements agricoles, dont l'espérance - ou la valeur moyenne - et l'écart-type, qui mesure la variabilité, sont les caractéristiques principales. Dans le chapitre 2, ces deux caractéristiques seront estimées pour le sorgho et le mil dans quelques régions du Plateau Mossi, à base de données relatives aux rendements "observés" dans le passé. Il est difficile de faire une estimation fiable de ces caractéristiques, et ce à cause des problèmes suivants:

- le nombre restreint de données disponibles sur les rendements agricoles;
- la fiabilité des données: nous manquons de connaissances au sujet de la méthode d'estimation des rendements moyens géographiques "observés" dans le passé;
- le changement des méthodes agricoles au cours des années; il s'agit ici d'un facteur qui est souvent mal connu, vu que la description des méthodes culturales appliquées dans le passé est souvent peu détaillée; en outre, nous nous intéressons aux effets des circonstances actuelles voire futures plutôt qu'à ceux du passé.

C'est à cause de ces problèmes que l'on se sert dans le programme AGRISK de modèles mathématiques, appelés modèles de croissance végétale, pour étudier la variabilité des rendements. Ces modèles permettent de déterminer à quel point les rendements agricoles, ou leurs lois de probabilité, dépendent de certains

facteurs influents. Il y a deux raisons spécifiques pour utiliser ces modèles:

- Dans les zones semi-arides tropicales, il y a en général une relation entre les rendements agricoles et le régime des pluies. Or, les données pluviométriques historiques sont beaucoup plus nombreuses que celles sur les rendements agricoles. Outre ce nombre limité de données relatives aux rendements, il faudrait prendre en considération les données (plus nombreuses) sur la variabilité des pluies, pour étudier son influence sur la variabilité des rendements, c'est-à-dire la relation entre rendements et pluviosité; ceci aboutirait, en effet, à une meilleure estimation de la loi de probabilité des rendements.
- Les modèles peuvent être des instruments utiles dans une étude quantitative de l'influence que subissent les rendements des facteurs tels que méthodes culturales, climat, et fertilité du sol.

La première raison a été élaborée dans SNIJDERS et SCHWEIGMAN (1985); cet ouvrage fournit quelques exemples de l'application de cette méthode basée sur un modèle de croissance végétale; il s'agit cependant d'un modèle très simple qui n'est pas tout à fait satisfaisant. Pour la culture du sorgho et du mil au Burkina Faso, d'autres modèles ont été élaborés dans le cadre du projet AGRISK, modèles qui prennent en considération plus de facteurs du développement végétal; voir VAN LOO et HANEGRAAF (1989), et MELLAART (1988). Ces modèles ne sont cependant pas encore opérationnels. C'est pourquoi l'estimation de la loi de probabilité des rendements, telle qu'elle est utilisée dans ce rapport n'est faite qu'à base de statistiques agricoles; nous nous référons aux résultats présentés dans SNIJDERS, DJIGUEMDE, SCHWEIGMAN et MAATMAN (1988). Le chapitre 3 contient un aperçu des méthodes statistiques qui peuvent être utilisées pour aboutir à une meilleure estimation de la loi de probabilité des rendements à l'aide d'un modèle de croissance végétale et de données pluviométriques historiques.

Les méthodes pour réduire les risques dans la production alimentaire, citées sous b), méritent une grande attention quand il s'agit d'une société d'auto-suffisance. Ici, nous nous limiterons aux méthodes traditionnelles pour réduire les risques dans la production du sorgho et du mil. Il existe beaucoup de méthodes plus ou moins traditionnelles pour réduire ces risques, méthodes portant entre autres sur le choix des variétés, la date de semis, le contrôle

du ruissellement de l'eau, la préparation du sol. L'efficacité de ces méthodes est difficile à évaluer; mais, dans la situation actuelle, elles sont toujours d'une importance vitale pour les paysans, puisqu'en général, il s'agit de leur seul recours. De nombreux facteurs (pluviométrie, nature du sol, main d'oeuvre, capital) influencent l'efficacité de ces méthodes traditionnelles; il est indispensable d'étudier leur cohérence avec le système de production. La présente recherche cependant sera limitée à l'étude des mesures plus ou moins traditionnelles et leurs mérites; nous laisserons de côté les questions de disponibilité de main d'oeuvre et/ou de capital, vu que ces questions ont fait l'objet d'autres études du projet AGRISK comme instrument d'analyse, nous utiliserons des modèles de croissance végétale. Dans le chapitre 4 seront discutées, cette approche, les mesures traditionnelles et leurs mérites dans le contexte de la réduction des risques.

Si, dans ce rapport, nous ne ferons référence qu'à d'autres rapports faits dans le cadre du programme de recherche CEDRES/AGRISK, c'est que, étroitement liés au nôtre, ces rapports sont fournis de références quasi exhaustives tant à la littérature qu'à d'autres sources, et que nous souhaitons éviter la répétition.

2 ESTIMATION DES RISQUES, FONDEE SUR DES DONNEES AGRICOLES

Dans ce chapitre, nous présentons les calculs des risques dans l'approvisionnement alimentaire en estimant ce qui a été mentionné sous (1) et (2). Cette estimation a trait à l'ensemble du Burkina Faso, aux Organismes Régionaux du Développement (ORD) du YATENGA, du CENTRE, du CENTRE NORD, et du CENTRE EST situés sur le Plateau Mossi (voir la carte 1). Au niveau des ORD, nous disposons de données agricoles portant sur la période de 1970 jusqu'à 1987. Pour une présentation, selon ORD, de toutes les données agricoles et de leurs sources, voir l'annexe du rapport "L'analyse statistique de données concernant la production agricole du Plateau Mossi" (SNIJDERS, DJIGUEMDE, SCHWEIGMAN, MAATMAN 1988). Etant donné qu'il est difficile de collecter des données sur les cultures de subsistance, les données disponibles sont de qualité douteuse. Ainsi, nous constatons que certains chiffres sont inconsistents (production inégale à rendement x superficie) et que d'autres sont incroyables (p.ex., identique d'une année à l'autre). Néanmoins, nous espérons que l'ordre de magnitude des résultats est plus ou moins juste.

La sécurité alimentaire est déterminée par le bilan entre l'offre et la demande alimentaires. Dans le programme CEDRES/AGRISK, une distinction est faite entre consommation et demande alimentaires, la dernière étant définie comme consommation désirée (voir le rapport sur la structure d'AGRISK, SCHWEIGMAN 1987). L'offre alimentaire dans une région peut consister en la production céréalière, la production non-céréalière, les stocks de sécurité, l'aide alimentaire et l'importation. Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur *la production céréalière*, les produits céréaliers pris en considération étant le sorgho, le mil et le maïs. La production céréalière sera comparée à *la demande céréalière*, notion qui sera traitée ci-après. Cette comparaison permettra de répondre à la question de savoir si la production céréalière de tel ORD est telle qu'il y est question d'autosuffisance. Il convient de souligner que les paysans Mossi doivent souvent vendre une partie de leur récolte pour couvrir les frais courants, et ce même dans une période de déficit alimentaire (voir par exemple YONLI, 1988). C'est un phénomène que nous laisserons de côté dans ce rapport: la comparaison entre production et demande céréalière telle que nous la présentons ici se rapporte à l'autosuffisance potentielle et non à l'autosuffisance réelle.

Pour telle région géographique, disons le YATENGA, les données agricoles sont disponibles pendant un certain temps; les années de cette période sont numérotées: $t=1,2,\dots,n$, n étant le total des années prises en considération. Les trois types de céréales, à savoir le sorgho, le mil et le maïs, sont numérotées respectivement $i=1,2$ et 3 . Nous définissons:

- a_{it} superficie emblavée de la céréale i "observée" en l'an t
- y_{it} rendement moyen de la céréale i "observé" en l'an t
- q_t production céréalière "observée" en l'an t

Nous constatons:

$$q_t = a_{1t}y_{1t} + a_{2t}y_{2t} + a_{3t}y_{3t}. \quad (3)$$

Il faut faire une distinction entre superficies emblavées et superficies récoltées, parce qu'elles sont parfois très différentes. Ainsi, pour certains secteurs du YATENGA, la superficie non-récoltée a été estimée, dans le passé, à des pourcentages variant de 0% à 60%, dont ceux entre 10% et 30% étaient le plus fréquents. Pour les autres ORD cependant, cette distinction n'est pas faite. Nous supposons que les données relatives aux superficies portent sur les superficies emblavées, sans pour autant exclure la possibilité de confusion pour le cas où l'estimation n'a pas été faite à base d'une méthode de sondage formelle.

Nous introduisons les symboles suivants:

- N_t nombre d'habitants dans le YATENGA en l'an t .
- d demande céréalière annuelle par tête.
- D_t demande céréalière totale dans le YATENGA en l'an t .
- f fraction de la production brute non disponible pour la consommation (pertes causées par le stockage, graines requises comme semence).
- q'_t production nette disponible pour la consommation dans le YATENGA en l'an t .

Nous constatons que

$$(4) \quad D_t = N_t d$$

$$(5) \quad q'_t = q_t(1-f).$$

Une attention particulière est requise pour les données relatives à la population. Dans le passé, les estimations de la population des différents ORD étaient basées sur l'enquête démographique par sondage de 1960-1961 faite en Haute-Volta et sur le recensement de 1975 qui ont permis d'estimer le taux de croissance démographique de 1960 à 1975. Cependant, le recensement de 1985 a démontré, pour la plupart des ORD, que non seulement la croissance démographique a été beaucoup plus grande de 1975 à 1985 par rapport à la période 1960-1975, mais aussi que cette croissance dépasse de loin les attentes. Cette hausse excessive du taux de croissance démographique ne peut pas être expliquée. Supposant que l'on n'a pas atteint toute la population pendant le recensement de 1975, l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD) de Burkina Faso a proposé une correction des résultats du recensement de 1975 de 8% (voir KONATE, 1988). Pour le Burkina Faso, cette correction correspond à un taux de croissance annuel de 2.67% (chiffre ajusté) au lieu de 3.5%, pour la période 1975-1985. C'est pourquoi, pour calculer N_t des années 1970-1985, nous avons utilisé comme valeurs des taux de croissance démographique des ORD les chiffres corrigés de l'INSD et les valeurs ajustées telles qu'elles sont présentées par KONATE (1988) (voir tableau 1).

La valeur de d , la demande céréalière annuelle par tête, exige également une attention particulière. Le Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, la FAO, le CILSS et les autres organisations se sont servis, dans le passé, de différentes valeurs pour d . Ces valeurs varient de 160 kg à 215 kg par tête, (voir par exemple HAGGBLADE, 1984). A base de la structure démographique, du poids corporel et de l'activité physique, BAKKER et KONATE (1988) ont calculé le besoin énergétique moyen de la population du Plateau Mossi. Partant de la supposition que les aliments céréaliers doivent couvrir 75% du besoin énergétique, elles ont calculé le besoin céréalier pour le cas où les céréales se consomment toutes comme "grain entier". La valeur de d cependant dépend

également de la méthode de préparation de la farine. Sur le Plateau Mossi, le mil se consomme essentiellement comme "grain entier"; le sorgho par contre est généralement dépouillé du son. Ceci mène à la conclusion que 190 kg est raisonnable comme valeur de d . Si le sorgho se consommait aussi comme "grain entier", la valeur de d serait moins élevée: elle serait de 165 kg.

Pour 1987/1988, le critère appliqué pour le besoin céréalier par le gouvernement burkinabè est de 190 kg/pers/an. C'est pourquoi, dans le présent rapport, la valeur de d sera également de 190 kg.

Les graines qui se perdent lors du stockage (pertes) et celles qui sont réservées pour être semées (semence) constituent des parties de la production qui ne sont pas disponibles pour la consommation. Bien que la quantité de pertes soit de nature aléatoire et que celle de la semence soit plus ou moins fixe sans dépendre du niveau de production, nous considérons ici "pertes et semence" comme une seule fraction f de la production qui ne dépend pas du niveau de production. Il convient de noter qu'il s'agit d'une supposition approximative, vu que, faute de données plus précises sur ces pertes et cette semence, nous ne pouvons pas en faire une estimation plus précise. Pour la fraction f - pertes et semence - nous adoptons une valeur moyenne.

Dans les rapports de l'ORD du YATENGA les besoins en semences sont estimés à 20 kg/ha, c'est-à-dire à environ 5% du rendement céréalier moyen. Ces besoins en semence peuvent varier d'une année à l'autre, à cause du fait qu'il est parfois nécessaire de refaire le semis au début de la saison. Les "pertes" sont environ de 5 à 10% du rendement céréalier moyen (voir YONLI, 1987). Il convient de mentionner expressément que nous ne signifions par "pertes" que celles qui surviennent après la récolte; celles qui sont dues aux maladies et ravageurs (p.ex. criquets pèlerins) surviennent pendant la croissance des végétaux, donc avant la récolte. Or, ces dernières ne sont pas comprises dans la valeur de f , mais dans les rendements "observés"; elles varient d'une année à l'autre. La valeur utilisée de la fraction f est de 15%.

Nous pouvons dire qu'en l'an t , la production céréalière a été déficitaire, si

$$(6) \quad q'_t < D_t.$$

Le tableau 1 montre, pour le Plateau Mossi et les ORD, la différence entre la production nette q'_t et la demande céréalière D_t sur la période 1970-1987. Il y a d'autres publications contenant des tableaux de ce genre, p.ex. les rapports des ORD et LECAILLON et MORRISON (1985). Vu la différence des sources de ces publications, les chiffres ne sont pas toujours identiques, mais l'ordre de grandeur est en général le même.

Tableau 1 Surplus/Déficit céréalier (sorgho + mil + maïs) par tête (en kg).

ORD:	CENTRE	C-EST	C-NORD	YATENGA	Pl.Mossi
1975	-32	-50	-29	-65	-41
1976	-75	-88	-77	-95	-82
1977	-63	-84	-51	-98	-70
1978	-82	-86	-56	-77	-75
1979	-63	-95	-72	-90	-76
1980	-88	-64	-106	-130	-96
1981	-64	-65	-46	-85	-64
1982	-75	-88	-94	-108	-87
1983	-91	-48	-96	-105	-87
1984	-94	-57	-98	-118	-92
1985	-51	1	-54	-95	-50
1986	-31	8	6	-46	-18
1987	-77	-38	-94	-100	-78

Une estimation de la probabilité d'un manque céréalier (1) pourrait être basée sur le nombre de fois que, dans les années 1,2,..., n, la production nette a été insuffisante; une estimation de la valeur de (2) pourrait être présentée comme le déficit moyen dans ces années. Une telle approche est bien appropriée pour l'étude de la situation dans les années qui figurent dans le tableau 1, c'est-à-dire, dans le passé. La situation dans les années à venir sera en tout cas différente à cause de l'accroissement de la population et des changements systématiques au cours du temps quant aux superficies emblavées et aux rendements. Les figures 1 et 2 montrent, pour l'ORD du CENTRE, les rendements du sorgho et du mil et les superficies emblavées au cours des années. Une analyse statistique démontre la présence d'une tendance à la hausse dans les rendements. Pour les autres ORD du Plateau Mossi, des calculs statistiques semblables ont été faits (SNIJDERS, DJIGUEMDE, SCHWEIGMAN, MAATMAN 1988).

La loi de répartition ou loi de probabilité des rendements constitue un moyen

pour quantifier les risques tels qu'ils existent actuellement, compte tenu de ces tendances; cette loi elle-même peut suivre une tendance au cours des années. Nous présentons par la suite une élaboration relativement simple de cette approche.

L'année pour laquelle les risques sont calculés est indiquée T; normalement, l'an T sera ultérieur aux années 1,...,n pour lesquelles les données sont disponibles. Dans le présent rapport, T porte sur 1989. Pour cet an T, nous supposons que les superficies emblavées des céréales $i=1,2,3$ sont fixées à des valeurs a_{iT} , $i=1,2,3$. Ces valeurs sont estimées par extrapolation à base des superficies emblavées dans les années 1970-1987 (voir fig. 2). Les rendements des trois types de céréales sont à priori inconnus. Le rendement de la céréale i est considéré comme variable aléatoire Y_{iT} . (Ici, les variables aléatoires sont indiquées par des symboles majuscules.) Par conséquent, la production totale dans l'an T est également une variable aléatoire, dénotée

$$Q_T = a_{1T} Y_{1T} + a_{2T} Y_{2T} + a_{3T} Y_{3T}.$$

La production nette de l'an T est donnée par

$$Q'_T = Q_T(1-f).$$

Les estimations de la probabilité d'un déficit céréalier (1) et de l'ampleur (2) du déficit céréalier prévue pour l'an T seront basées sur l'estimation de la loi de probabilité de Q'_T . Cette loi peut être estimée approximativement, si l'on connaît la moyenne

$$\nu_T = E Q'_T$$

et l'écart-type qui est la racine carrée de la variance

$$\sigma^2 = E(Q'_T - \nu_T)^2.$$

La moyenne ν_T et l'écart-type σ peuvent être estimés à la base des "observations" y_{it} des rendements dans le passé. C'est que si, dans l'an t , les superficies emblavées avaient eu des valeurs pareilles à celle de l'an T (donc, a_{iT}) et si les rendements avaient en effet été des rendements "observés" y_{it} , la production obtenue dans l'an t aurait été de

$$(7) \quad q_{iT} = a_{1T} Y_{1t} + a_{2T} Y_{2t} + a_{3T} Y_{3t} \quad , \quad t = 1, 2, \dots, n.$$

La valeur q_{iT} représente une valeur hypothétique, c'est-à-dire la production qui aurait été obtenue si les rendements avaient été comme ceux "observés" pour l'an t et si les superficies emblavées avaient été comme celles fixées pour l'an T . S'il est question d'une tendance dans les rendements pour les ans $t = 1, \dots, n$, elle sera également présente dans les valeurs q_{iT} . Nous supposons que q_{iT} est l'issue d'une variable aléatoire Q_{iT} . L'espérance de la production nette hypothétique, donnée par $(1-f)Q_{iT}$, est indiquée par

$$\nu_t = E(1-f)Q_{iT},$$

et nous supposons qu'il peut être question d'une tendance linéaire dans ν_t , c'est-à-dire

$$(8) \quad \nu_t = \alpha + \beta t.$$

L'estimation de α , β et σ a été faite par SNIJDERS, DJIGUEMDE, SCHWEIGMAN et MAATMAN (1988).

Au lieu de traiter les superficies comme fixes, nous aurions aussi pu les traiter comme aléatoires. Vu les décisions des paysans en la matière, on pourrait avancer que les superficies sont déterminées par les paysans, tout en étant limités par les conditions locales (contraintes) telles que les pluies, la disponibilité de terres et de main-d'oeuvre. Il est donc question d'un élément de choix aussi bien que d'influences aléatoires. Dans cette étude, nous souhaitons mettre en évidence l'élément de choix. Une analyse dans laquelle les superficies seraient traitées comme aléatoires, au lieu de fixes comme c'est le cas dans la nôtre, aboutirait à une variabilité σ plus élevée.

Dans le tableau 2 sont présentées les estimations des coefficients α et β , de ν_t et σ pour les ORD du Plateau Mossi, et la demande céréalière D_t pour l'an

T, calculée par extrapolation des données démographiques de KONATE (1988). Comme la présence d'une tendance est à priori vraisemblable à cause de la variabilité de plusieurs facteurs influents, nous ne donnons pas ici les résultats des tests sur la signification statistique de l'écart du paramètre β par rapport à 0.

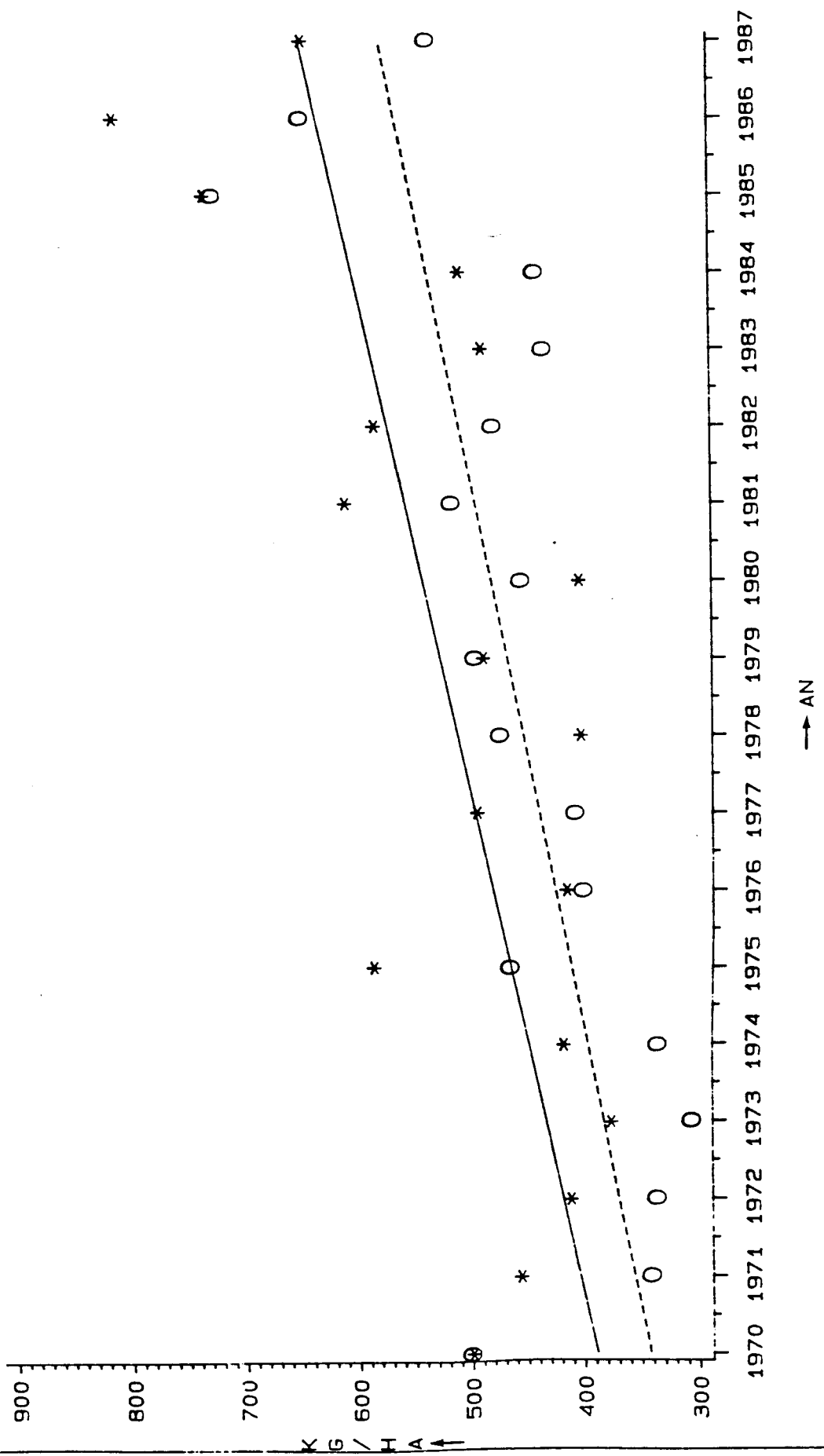
Tableau 2 Paramètres de la loi de probabilité des productions nettes hypothétiques pour les ORD et pour le Plateau Mossi (ensemble des ORD); demande céréalière, déficit total et déficit par tête pour ces régions. L'an T correspond à 1989. Unité: 1000 tonnes; pour $(D_T - \nu_T)/N_T$, kg/personne.

	Centre	C.Est	C.Nord	Yatenga	Pl.Mossi
α	109	73	119	40	341
β	4.4	1.2	-1.4	0.9	5.1
ν_T	197	99	90	59	443
σ	25	13	23	14	55
D_T	339	119	161	99	718
$D_T - \nu_T$	144	20	71	40	275
$(D_T - \nu_T)/N_T$	80	33	84	77	73
σ/ν_T	0.12	0.13	0.26	0.24	0.12

Dans l'étude de SNIJDERS, DJIGUEMDE, SCHWEIGMAN et MAATMAN (1988), les auteurs montrent, de plus, que la loi de probabilité de Q'_t peut être approchée par une loi normale. Bien que d'autres distributions, p.ex. une loi gamma, soient utilisables, la loi normale est le moyen le plus simple; la répartition des valeurs $q_{t,T}$ n'est pas contradictoire à la supposition d'une loi normale; étant donné le petit nombre de données et leur qualité parfois douteuse, l'utilisation d'une autre loi de probabilité n'impliquerait pas une plus grande précision des résultats. A l'aide de cette loi de probabilité, on peut calculer la probabilité (1) selon laquelle l'an T est déficitaire:

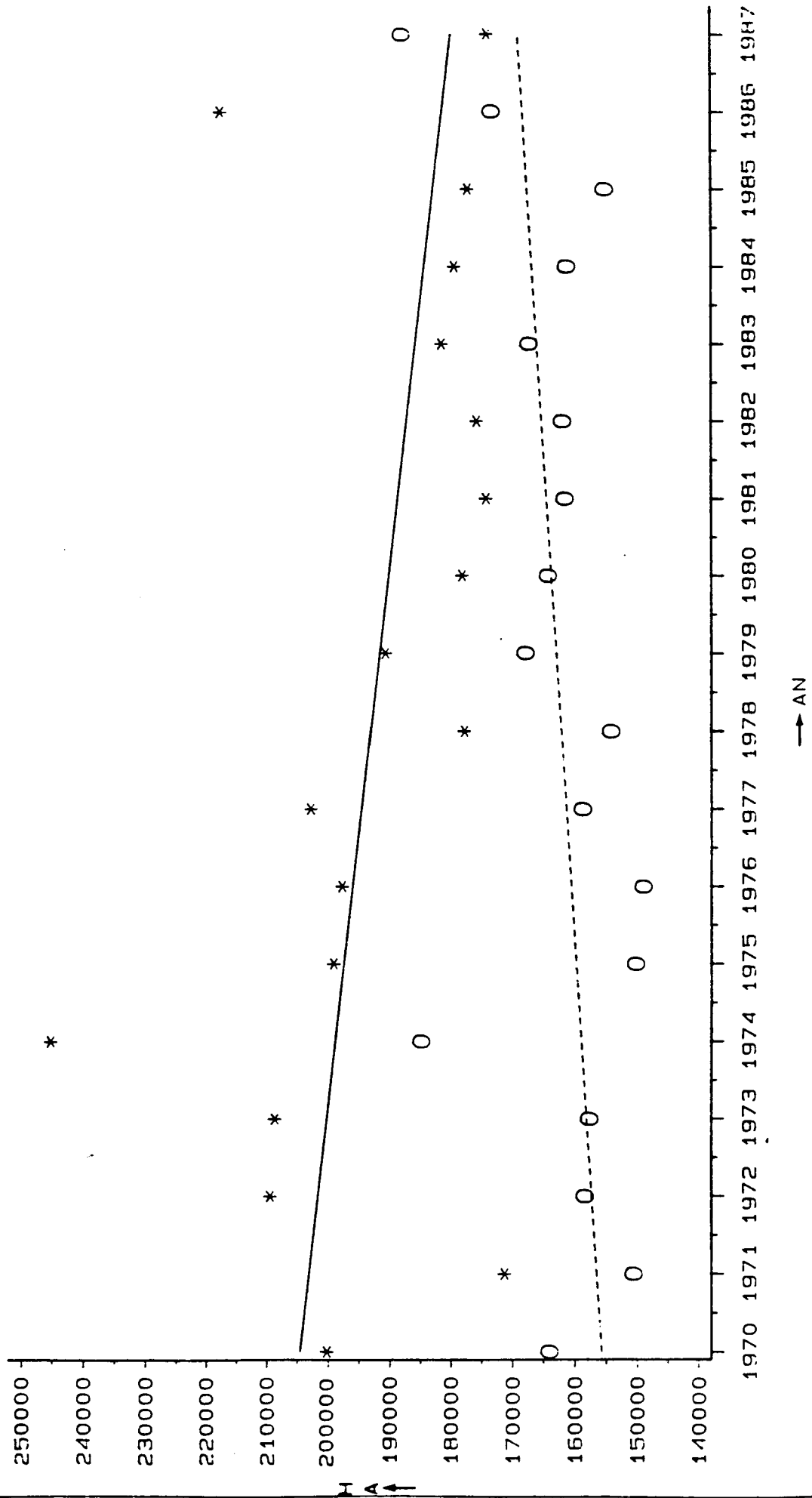
$$P(Q'_T < D_T).$$

FIG. 1 CENTRE: rendements du sorgho et du mil



SORGHO: * = valeurs observees — = droite de la regression
 MIL : o = valeurs observees - - - = droite de la regression

FIG. 2 CENTRE: superficies du sorgho et du mil



Pour l'ORD du Centre-Est, la valeur de cette probabilité est estimée à 90%, tandis que pour les autres ORD et pour le Plateau Mossi, elle atteint plus que 99%. Il est donc quasiment certain que la production céréalière est déficitaire dans tous les ORD pris en considération, avec une faible exception pour le Centre-Est.

Dans cette quasi-certitude d'un déficit, l'ampleur prévue du déficit est exprimée approximativement par la différence

$$D_T - \nu_T,$$

quantité indiquée également dans le tableau 2. Pour faire la comparaison avec le tableau 1, le déficit prévu par tête est donné par

$$(D_T - \nu_T)/N_T = d(1 - \nu_T/D_T)$$

et indiqué dans le tableau 2. Pour les tableaux 1 et 2 l'ordre de magnitude est le même.

L'ampleur prévue du déficit pour le Plateau Mossi tout entier, qui est de 280.000 tonnes, peut être comparée avec les niveaux habituels des importations et des aides céréalières. Les chiffres sont donnés dans le tableau 3.

Il convient de noter ici que les chiffres de HAGGBLADE proviennent de plusieurs sources. Ainsi, pour les aides céréalières, il cite entre autres l'USAID, et pour les importations, les statistiques commerciales officielles. (N.B.: LECAILLON et MORISSON (1985, tableaux 1-8) fournissent, pour la plupart des ans, des chiffres plus bas!).

Les chiffres de tableau 3 mènent à la conclusion qu'au début des années 80, le niveau habituel des importations et des aides céréalières se trouvait entre 100.000 et 150.000 tonnes. Ces quantités ne suffisent pas pour combler le déficit prévu du Plateau Mossi. Cependant, vu que le reste du pays (Sud et Sud-Quest) est considéré excédentaire, il pourrait être possible d'utiliser cet excédent pour combler le restant du déficit du Plateau Mossi. Tout compte fait, nous concluons que, sous les conditions actuelles, l'autosuffisance dans la production céréalière du Plateau Mossi est loin d'être atteinte et que la

Tableau 3 Importations et aide céréalières.

Unité: 1000 tonnes. (Source: HAGGBLADE 1984).

An	Importations céréalières totales	Aides céréalières totales
1972	26	39
1973	41	37
1974	106	95
1975	32	24
1976	36	23
1977	64	25
1978	115	88
1979	99	41
1980	89	39
1981	77	38
1982		56
1983		39

consommation céréalière par tête est vraisemblablement bien inférieure au minimum désirable de 190 kg, même s'il est question d'importations céréalières du niveau habituel.

Cette conclusion correspond à celle de BAKKER et KONATE (1988, par. 3.3) qui constatent que le niveau de la production céréalière est inférieur à celui de la consommation; elle correspond également à HAGGBLADE (1985, par. IID) qui conclut que la consommation alimentaire totale du Burkina Faso n'est pas de nature à couvrir les besoins nutritionnels, le déficit en calories étant estimé à environ 15%.

La loi de probabilité du déficit céréalière du Plateau Mossi a une espérance de 275.000 tonnes et un écart-type de 55.000 tonnes. L'espérance est donc grande par rapport à l'écart-type. Nous avons remarqué déjà que la supposition d'une loi normale ne se trouve pas très loin de la réalité. Or, supposée cette loi

normale, nous constatons que ce n'est à peine dans un an sur vingt que l'écart de la production (par rapport à la moyenne) atteint plus du double de l'écart-type et qu'il ne s'élève que très rarement - pratiquement jamais - à plus du triple. Ceci implique que les fluctuations du déficit, d'un an à l'autre, sont petites en comparaison avec le niveau moyen de ce déficit. Il faut s'attendre cependant à un an sur vingt à déficit de l'ordre de magnitude de 400.000 tonnes ou plus. Nous concluons donc que, du point de vue pratique, la nature aléatoire du déficit est d'une importance bien moindre que son niveau habituel.

Le niveau prévu de la production, ν_T , peut être considéré par rapport à la demande céréalière D_T pour connaître la proportion ν_T/D_T de satisfaction des besoins en céréales par la production de la région. Pour le Plateau Mossi, cette fraction est de 62%; quant aux quatre ORD elle est de 58% pour le CENTRE, 83% pour le CENTRE-EST, 56% pour le CENTRE-NORD et 60% pour le YATENGA. Le déficit prévu est donc légèrement inférieure à la moitié de la demande pour trois ORD, à savoir: le CENTRE, le CENTRE-EST et le YATENGA.

La question se pose quelle serait la probabilité d'un déficit si l'on disposait, par importations ou par réserves, d'un certain stock de céréales. Avec un stock du niveau v , la probabilité d'un déficit en l'an T est exprimée par

$$(9) \quad P\{Q'_T + v < D_T\}.$$

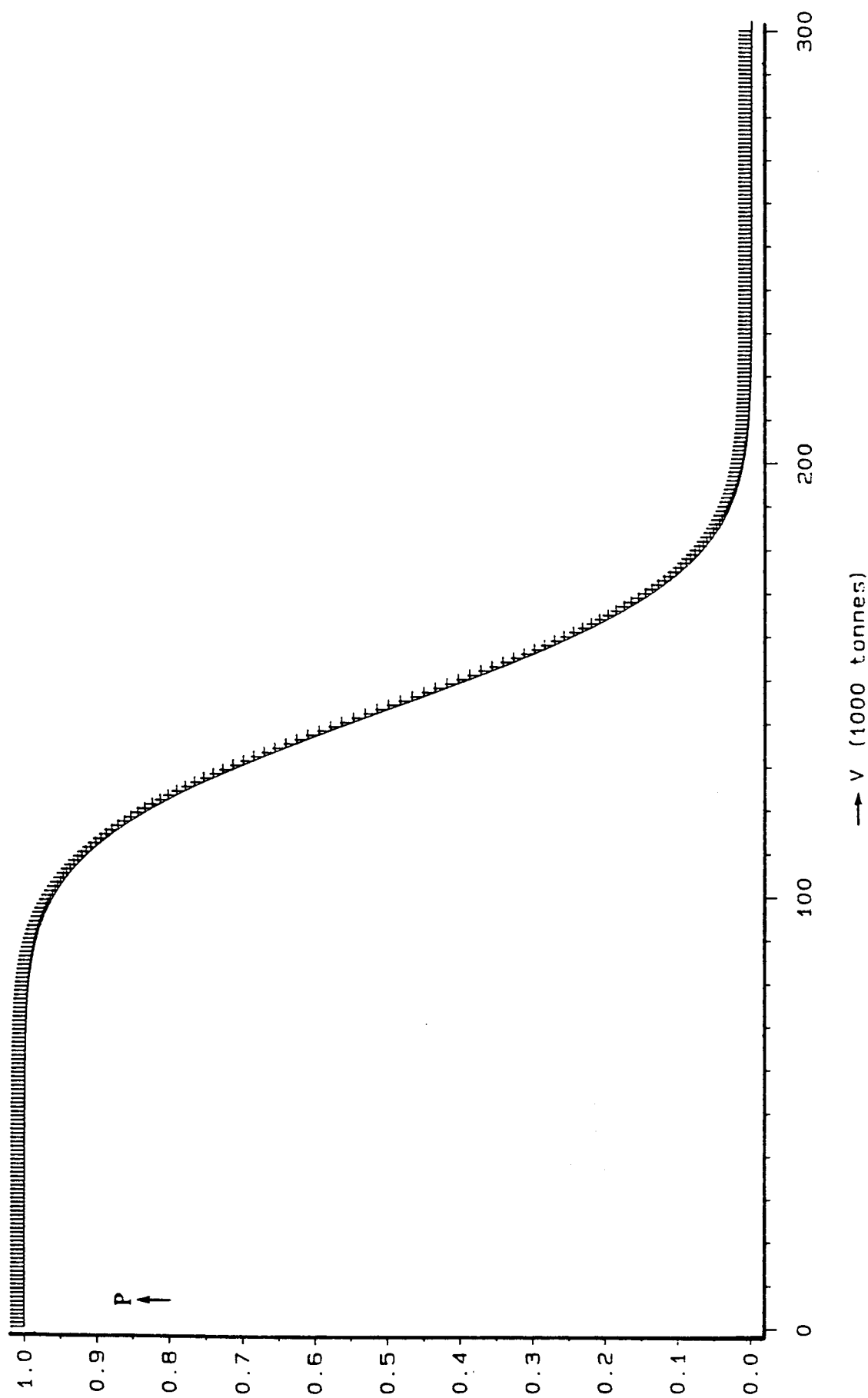
Pour l'ORD du Centre, la valeur estimée de cette probabilité est donnée, en fonction du stock v , dans la figure 3. Quand v égale la moyenne du déficit, donc $v = D_T - \nu_T$ (144.000 tonnes pour l'ORD du Centre), la probabilité d'un déficit est de 0,5. Quand v est inférieure à 100.000 tonnes, il est presque sûr qu'il y a un déficit; quand v est supérieure à 200.000 tonnes, il est presque sûr qu'il y a un surplus.

La variabilité relative est exprimée par le coefficient de variation, défini par

$$\sigma/\nu_T,$$

et donnée dans le tableau 2. Nous sommes à même de conclure que la variabilité relative est la plus élevée dans les ORD les plus septentrionales. Considérant une région plus étendue, nous constatons que la variabilité relative est en général plus faible. En effet, pour le Plateau Mossi tout entier, elle est inférieure à la moyenne de celles des quatre ORD. Cependant, lorsque nous comparons la variabilité relative du Plateau Mossi à celle de chacun des ORD, nous constatons qu'elle n'est que légèrement inférieure à celle du Centre-Est, et pas inférieure du tout à celle du Centre. Cela s'explique par la variabilité élevée dans les deux autres ORD, et par la corrélation élevée entre les productions des quatre ORD (voir SNIJDERS, DJIGUEMDE, SCHWEIGMAN et MAATMAN, 1988). Dans le chapitre 4, nous reviendrons sur les méthodes de dispersion des risques.

Fig. 3 CENTRE: estimation de (13)



P = P (Qnette+V\$ D)

3 MOYENNE ET ECART-TYPE DES RENDEMENTS ESTIMES A L'AIDE DE MODELES DE CROISSANCE VEGETALE ET DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Dans ce chapitre, nous esquissons une méthode permettant d'estimer la moyenne et l'écart-type des rendements d'une culture donnée. Il s'agit d'une méthode qui est applicable dès qu'on dispose d'un nombre relativement bas de données pluviométriques et d'un modèle de croissance végétale. La structure des modèles de croissance végétale n'est pas traitée ici, voir à cet effet entre autres SNIJDERS & SCHWEIGMAN (1985), MELLAART (1988), VAN LOO & HANEGRAAF (1988). Le modèle de croissance végétale constitue, pour ainsi dire, un lien entre deux types de données, dans notre cas, les données pluviométriques et les données relatives aux rendements. Les données sur les rendements sont indiquées par y_j ; elles portent sur les ans qui sont numérotés $j = n_1+1, n_1+2, \dots, n_1+n_2$. Les ans sur lesquels les données pluviométriques sont disponibles sont numérotés $j = 1, \dots, n_1+n_2$. Il est donc supposé que si le rendement y_j de telle année est connu, les données pluviométriques de cette même année le sont également, même si les données pluviométriques portent sur la période 1930-1987 et celles des rendements sur 1970-1987. Nous pouvons donc utiliser les données pluviométriques disponibles sur un des ans $j = 1, \dots, n_1+n_2$ pour en calculer à l'aide d'un modèle de croissance végétale, une valeur \hat{y}_j étant le rendement estimé de cet an.

La méthode indiquée ici est fondée sur la supposition qu'il existe une corrélation assez forte entre y_j et \hat{y}_j , quoi qu'il soit possible que le niveau moyen et la variabilité des rendements estimés \hat{y}_j ne soient pas justes. En effet, il y a normalement des facteurs contribuant à la variabilité des rendements réels qui ne sont pas inclus dans le modèle; nous pouvons donc nous attendre à ce que la variabilité des rendements réels y_j soit plus élevée que celle des rendements estimés \hat{y}_j .

Sans le modèle de croissance végétale, la loi de probabilité du rendement, peut être estimée avec les données y_j sur les rendements réels. Pour les résultats, voir le chapitre 2. Si le modèle de croissance végétale est adéquat, et si le nombre n_1 des ans sur lesquels les données pluviométriques sont disponibles est assez élevé par rapport à n_2 , les données \hat{y}_j sur les rendements estimés permettent d'obtenir une estimation plus précise de la moyenne et de l'écart-type du rendement. La méthode consiste en deux tranches:

- les données (y_j, \hat{y}_j) sur $j = n_1+1, \dots, n_1+n_2$ sont utilisées pour obtenir une information sur la relation statistique (corrélation) entre les rendements réels et rendements estimés;
- à l'aide de cette information, les données \hat{y}_j sur $j = 1, \dots, n_1, n_1+1, \dots, n_1+n_2$ sont utilisées pour modifier les estimations dérivées des données y_j sur les rendements réels.

Les détails de cette méthode sont traités dans SNIJDERS et SCHWEIGMAN (1985: p. 179-184) et dans SNIJDERS (1986b). Ces ouvrages contiennent un exemple de l'estimation de la moyenne et de l'écart-type du rendement du sorgho au Burkina Faso. Le modèle de croissance végétale utilisé dans cet exemple n'est pourtant pas très satisfaisant; les modèles plus adéquats développés dans le cadre du projet AGRISK, tels que celui de VAN LOO et HANEGRAAF (1988), ne sont pas encore opérationnels en ce moment. C'est pourquoi nous nous sommes limités ici à donner une esquisse de cette méthode, au lieu de décrire en détail son application.

4 DIVERSITE DE SYSTEMES AGRICOLES: UNE METHODE POUR REDUIRE LES RISQUES; APPLICATION NOUVELLE DE MODELES DE CROISSANCE VEGETALE

4.1 Introduction

Les données statistiques sur la production alimentaire et la densité de la population du Plateau Mossi et les valeurs raisonnables relatives au besoin alimentaire par tête ont permis de conclure, dans le chapitre précédent, que la probabilité de déficits alimentaires pour les années à venir est environ de 1. Le tableau 2 montre que l'écart-type de l'ensemble de la production alimentaire d'un ORD est relativement petit par rapport à la demande alimentaire prévue: entre les quatre ORD, la variation de σ/D_T est de 0.074 à 0.14; pour le Plateau Mossi, elle est de 0.078; l'offre alimentaire prévue, elle, fraction du besoin alimentaire (v_T/D_T), varie de 0.54 à 0.86 pour les ORD, et est de 0.61 pour le Plateau Mossi. Pour combler les déficits, la production moyenne devra augmenter de façon considérable, la variance des productions n'étant pas extrêmement grande. Si, en prenant telles mesures, il est possible de réaliser une hausse des moyennes sans que la variance s'agrandisse, le problème alimentaire devra être contrôlable. Cependant, la question est de savoir si c'est effectivement réalisable, vu que les systèmes agricoles existants contiennent probablement toutes sortes d'éléments qui, tout en visant à la réduction des risques, pourraient bien nuire à la production moyenne. Il est donc indispensable de bien connaître ces éléments et d'éviter ainsi que les interventions visant à une hausse de la production moyenne aillent de paire avec un agrandissement non désiré de la variance des productions.

En général, il est possible de réduire les risques en jouant plusieurs cartes à la fois. C'est une sagesse populaire qui ne précise pourtant pas la nature et la quantité des cartes. Dans la littérature écologique, la réduction des risques par le moyen de la diversification est appelée "bet-hedging strategy" (presque pareil à la stratégie des doubles paris) (STEARNS, 1976).

Pour la production végétale, il existe une idée généralement répandue selon laquelle les systèmes culturaux "traditionnels" qui sont relativement complexes - diversité des variétés et des conditions culturelles -, contiennent une plus grande dispersion des risques que les systèmes dits modernes où il ne

s'agit généralement que d'une seule variété à rendement élevé (high yielding variety).

Toutefois, dans le cas où les conditions culturales sont favorables, il est possible d'agrandir la production en cultivant des variétés dites améliorées. Une question importante dans ce cadre est celle de savoir comment il faut quantifier et vérifier l'hypothèse selon laquelle les risques peuvent être réduits par le biais de la diversification. En effet, les risques ne se réduisent pas après l'introduction de n'importe quelle nouvelle composante dans un système cultural. Par conséquent, il importe de savoir comment nous pouvons distinguer dans un système les éléments qui aboutissent à une réduction des risques et ceux qui ne le font pas. A cet effet, plusieurs critères ont été établis, tous basés sur la loi de probabilité de la production totale du système cultural. Cette loi de probabilité supposée normale, la moyenne et la variance de la production totale constituent des paramètres très intéressants pour notre objectif, puisque nous pouvons en déduire des différents pronostics: la production dans des années mauvaises, le risque que tel objectif de production ne sera pas atteint et l'ampleur du déficit alimentaire auquel on peut s'attendre. Nous chercherons donc à connaître la moyenne et la variance de la production totale d'un système cultural consistant en plusieurs composantes. Nous considérerons d'abord un système de deux composantes pour le comparer avec un système consistant en une seule composante, espérant de pouvoir étudier plus tard des systèmes de plusieurs composantes.

Dans le domaine de la phytoécologie, de nombreuses études ont été faites sur la variation (génétique) des populations végétales naturelles, et ce compte tenu des conditions environnementales. Les connaissances ainsi acquises sur la survie de ces populations dans un milieu instable, qui seront discutées dans le paragraphe 4.2, peuvent constituer la trame des études relatives aux populations végétales cultivées par l'homme.

Dans le paragraphe 4.3, nous élaborerons un critère qui nous permettra de déterminer l'utilité, dans le contexte de la réduction des risques, d'introduire un nouvel élément dans tel système cultural (nouveau végétal, variété améliorée, mesures pour améliorer la qualité du sol, mesures culturales). Il se trouve que, pour l'application de ce critère, il faut

connaître non seulement la moyenne et la variance du rendement de cet élément nouvellement introduit, mais aussi la corrélation entre les rendements des deux éléments, calculée sur une période suffisamment longue.

Dans le paragraphe 4.4, nous explorerons les possibilités quant à l'application de ce critère sur la culture céréalière du Plateau Mossi. Nous nous savons confrontés à un manque de données pertinentes sur les productions réelles et les corrélations entre les productions de deux végétaux cultivés sous conditions identiques, et notamment quant aux variétés locales qui s'avèrent mal décrites. De ce fait, nous ne pourrions pas appliquer notre critère tout de suite. Comme alternative, nous pouvons nous servir, sous certaines conditions, de modèles de croissance végétale pour simuler la production à la base d'une série de données pluviométriques (réelles). Ces simulations de la croissance végétale peuvent être considérées comme des expériences fictives ayant pour but d'étudier les effets (en puissance) de modifications dans les caractéristiques végétales, les conditions environnementales et/ou les méthodes agricoles pour la production. (voir p.ex. MELLAART 1988) A l'intérieur des limites de validité, les simulations offrent, plus que les expériences réelles, un grand nombre de possibilités rapides pour analyser quantitativement le risque d'une mauvaise récolte, voire de l'échec de la récolte. Les combinaisons exceptionnelles de conditions climatiques et de méthodes agricoles constituent des situations rares qu'il vaut mieux simuler que d'attendre.

La validité des modèles peut être évaluée au niveau des hypothèses et à celui des résultats. Surtout quand il s'agit d'extrapoler à partir de conditions encore inconnues, il est important de pouvoir se fier à ce que le modèle décrive l'essentiel des processus sous-jacents.

En outre, il faudra démontrer qu'avec des paramètres adéquats, les résultats simulés des modèles approchent de façon raisonnable les résultats observés en réalité. Cependant, quant aux modèles de simulation pour la culture céréalière dans la région sahélienne - situation donc où il peut exister des déficits tant en eau qu'en nutriments -, il convient de noter expressément que ces modèles n'ont pas suffisamment été testés et/ou qu'ils manquent de précision dans leur description des processus.

Dans le même paragraphe, nous discuterons également une méthode que nous

pourrons appliquer dès que nous disposons de modèles améliorés pourvus de paramètres; cette méthode nous permettra de nous prononcer sur la réduction des risques dans la culture du sorgho et du mil sur le Plateau Mossi.

Le paragraphe 4.5 contiendra le résumé de ce chapitre ainsi qu'une discussion au sujet des possibilités pour des études ultérieures.

4.2 Evaluation comparative de la diversité des populations végétales naturelles et agricoles

4.2.1 Installation des plants

Dans une situation naturelle, les graines et les fruits attendent pour ainsi dire dans le sol que prenne fin une période qui ne se prête pas à la croissance (p.ex. sécheresse, froid). En général, le processus de germination des graines végétales s'est adapté, à travers une période de sélection et d'évolution, à leurs chances de survivre après germination. ANGEVINE et CHABOT (1979) ont introduit la notion "syndromes de germination", comme par exemple le syndrome d'éviter la sécheresse "drought avoidance syndrome". Le tégument de la graine contient des substances qui freinent la germination, laquelle ne peut avoir lieu qu'après rinçage. C'est ainsi qu'un végétal a la capacité "d'enregistrer" la pluie. CISSÉ (1986) a étudié la germination et l'enracinement d'un certain nombre d'espèces végétales présentes dans les pâturages sahéliens du Mali. Il a fait une distinction entre différentes catégories de végétaux. Une première catégorie est formée par les espèces dont les graines germent rapidement, dès le début de la saison de croissance; les plants de ces espèces sont assez résistants à la sécheresse. Une deuxième catégorie regroupe les espèces à germination lente, ce qui fait que pour ces plants-là, le risque d'être confrontés à une période de sécheresse est moins grand (drought avoidance). Une troisième catégorie comprend des espèces (notamment les légumineuses) dont le processus de germination montre une assez grande hétérogénéité temporelle; de ce fait, ces espèces comportent un certain élément de dispersion de risques. En effet, la fraction de plants naissant de graines à germination rapide peut éventuellement profiter d'une occupation précoce du sol; en cas de dessèchement de ces plants précoces, il y aura

encore une occasion de germer, bien que la production soit moins grande dans ce cas. Lorsque le régime des pluies est variable (fluctuations annuelles et spatiales), il est avantageux qu'il y ait différentes espèces végétales ou différentes variétés d'une même espèce.

Au bord du désert, le comportement des végétaux est généralement très "opportuniste" du fait que les graines germent rapidement sous une des rares pluies. Pour leur cycle de croissance, ces végétaux-là ne dépendent pas de pluies ultérieures, qui sont déjà aussi rares, parce qu'elles sont capables de l'achever à l'aide de cette seule première pluie. Evidemment, un cycle de croissance extrêmement court implique que le poids total des graines produites n'est que très peu élevé.

Dans la littérature écologique, la variation dans les processus de germination à l'intérieur d'une même population est mise en relation avec le fait que les chances de survie s'agrandissent lorsqu'il est question d'une forte fluctuation dans les conditions environnementales (COHEN, 1966; SCHAT, 1981). Ce phénomène est l'effet de différents mécanismes de sélection naturelle. Ainsi, une seule plante du chénopode blanc (*Chenopodium album*), plante herbacée annuelle, est à même de produire à la fois des graines à germination rapide et des graines à germination différée (HARPER, 1977), les dernières gardant leur pouvoir germinatif pendant des dizaines d'années. Pour la drave (*Erophila verna*), plante annuelle poussant dans les dunes (fluctuations hydriques dans le sol, poudroisement du sable, etc), une même population regroupe des individus producteurs d'un grand nombre de petites graines ainsi que des producteurs d'un petit nombre de graines relativement grandes (VAN ANDEL et al. 1986). Pour les cultures agricoles, il y a eu en général une sélection (artificielle) des variétés selon le pouvoir germinatif - rapide et simultanée - des graines. Il s'y ajoute que l'uniformité de la germination est favorisée par la préparation des graines, par exemple la stratification. Ce qui est essentiel dans ce cadre est la question de savoir si la situation des savannes est comparable à celle du paysan, si ses semences sont suffisamment variables pour lui fournir une bonne production sous un régime de pluie variable (spatial et temporel). A cet égard, une condition fondamentale est la survie du plant. Etant donné la variabilité du processus de germination des espèces naturelles, le paysan devra agir de façon analogue: semer plus d'une

fois et/ou utiliser plus d'une variété et/ou réduire la variabilité des conditions édaphiques par le biais d'irrigation. Si les processus et les paramètres du bilan hydrique sont connus, les effets de tout un éventail de mesures peuvent être comparés moyennant les simulations et le calcul des probabilités.

4.2.2 Variétés

En théorie, telle population de plants fournirait la meilleure production, si l'on cultivait un matériel homogène du point de vue génétique (lignée pure, clone et, en quelque sorte, variété), et ce sous des conditions qui sont optimales pour ce génotype. Cela nécessite en même temps un conditionnement des conditions environnementales, tel que l'homogénéisation du sol, l'apport de pluies, de fumier ou engrais et l'application de pesticides pour lutter contre champignons et insectes nuisibles. Nous pouvons prendre comme règle approximative que moins les conditions environnementales sont prévisibles ou contrôlables, plus l'uniformisation du matériel végétal comporte de risques. Il s'y ajoute que, sous conditions contrôlées, la production totale d'une culture mixte (plusieurs espèces ou variétés) peut être plus grande que celle d'une monoculture (une seule espèce ou variété); pour cette culture mixte, en effet, les ressources sont plus nombreuses du fait que les différentes variétés n'ont pas les mêmes besoins (niches écologiques) (TRENATH, 1986).

Ce n'est que récemment que la littérature écologique (et agronomique) s'intéresse au pour et au contre de la variation individuelle dans les populations végétales (VAN ANDEL et al., 1984; WEINER et SOLBRIG, 1984; BENJAMIN et HARDWICK, 1986; WEINER et THOMAS, 1986; BIÈRE, 1987). Ainsi, ENNOS (1985) a démontré dans une comparaison de la production épigée de luzerne blanche (*Trifolium repens*) cultivée en monoculture et en culture mixte, qu'après une période de sécheresse, la plus grande production est fournie par un mélange de génotypes à enracinement superficiel et profond. Les simulations et le calcul des probabilités sont des moyens par excellence pour évaluer les effets de toutes sortes de mélanges de variétés.

Les variétés du sorgho (et du mil) diffèrent entre autres quant aux aspects suivants:

- (i) la durée du cycle de croissance (durée requise de la saison de croissance)
- (ii) la phénologie ou la progression temporelle des stades de la croissance, dont notamment les différences de photopériodisme (floraison sensible ou non à la longueur des jours)
- (iii) la distribution et la redistribution d'énergie et de nutriments sur les organes du végétal, dont les graines.

Les modèles de croissance végétale du type VAN KEULEN & WOLF (1986) offrent la possibilité de varier les valeurs des paramètres relatifs à ces phénomènes. En outre, plusieurs modèles contiennent des critères pour évaluer le semis qui n'est considéré réussi que si, après germination des graines, l'eau disponible suffit pour la survie des plants. (voir 4.2.1)

La capacité d'un végétal de réagir de façon adéquate à la disponibilité d'eau dépend de certaines caractéristiques, dont quelques-unes s'opposent. Du fait de ces oppositions, il n'existe pas de végétaux idéaux qui sont universellement applicables, il faut des compromis spécifiques à chaque situation. Sont des exemples des oppositions:

- la germination rapide après humectation est d'une importance capitale pour le cycle de croissance s'il continue à pleuvoir; sinon, la même chose peut être fatale
- le végétal profite de façon plus complète de l'eau disponible par la production de davantage de racines; ceci se passe pourtant au détriment de la croissance à la surface. Une étude écophysologique récente sur les variétés d'orge dans des conditions semi-arides et méditerranéennes a démontré qu'il existe des différences considérables entre les variétés quant à leur rapidité d'enracinement et à la proportion racines/parties épigées qui change selon la disponibilité d'eau (KUIPER et al., 1988)
- la production d'un végétal dont le cycle de croissance est long peut être grande dans une année de pluies prolongées, et échouer dans une année sèche; un végétal à cycle de croissance court cependant, étant toujours assuré de quelque production, ne profite pas de l'occasion d'une année

- favorable pour agrandir cette production
- dans une période sèche, une consommation rapide de l'eau disponible dans le sol entre deux pluies peut favoriser la croissance totale si la prochaine pluie tombe dans un assez bref délai, mais peut s'avérer fatale si cette pluie se fait attendre; bien que la production soit moins grande lorsque l'eau est "épargnée", elle sera plus stable. Il convient d'ajouter ici que la stratégie d'épargner l'eau n'est efficace que si tous les individus "s'en tiennent aux règles": dans une population végétale naturelle, ce phénomène ne semble se produire qu'en cohérence avec l'inhibition allélopathique des plantes voisines. En Australie, où la culture céréalière repose entièrement sur la présence dans le sol d'une réserve hydrique dès le début de la saison de croissance, les variétés céréalières sont sélectionnées en fonction des caractéristiques d'enracinement consistant en une consommation hydrique lente et constante (PASSIOURA, 1985). La production d'un mélange de deux variétés, l'une étant "gaspilleuse" d'eau et l'autre "économe", est beaucoup moins grande que celle des variétés isolées cultivées en monoculture, c'est ce que prouve le "Relative Yield Total" (voir ci-après) qui se monte à 0.8 (TRENATH, 1986).

Les situations où l'eau est un facteur limitatif à la production peuvent être analysées en considérant au moins quatre processus:

1. la relation entre pluviosité (ou irrigation) et quantité d'eau disponible dans la zone d'enracinement;
2. l'utilisation réelle de cette eau disponible par absorption;
3. l'utilisation d'eau par transpiration, pour laquelle les stomates peuvent être ouvertes ce qui permet la photosynthèse;
4. la production de parties récoltables à l'aide des produits de la photosynthèse.

Le premier processus est surtout de nature pédologique, le deuxième est concentré sur l'enracinement et les deux derniers relèvent de la physiologie végétale épigée. En général, les espèces végétales montrent peu de variation quant à l'efficacité de 3, ce qui s'avère de la relation entre la production totale de matières sèches et la quantité d'eau utilisée, indiquée par l'indice de la transpiration (évaporation de H_2O par unité de CH_2O produite), qui varie généralement de 3 à 7 g/l (DE WIT, 1958). Il existe cependant des différences considérables dans l'efficacité du processus 4, ce qui aboutit à des

différences dans l'indice de la récolte (harvest index) (c.-à-d. la production de parties récoltables par unité de biomasse épigée); il en est de même pour le processus 2, celui de l'utilisation de l'eau disponible. La figure 1 montre que l'efficacité dans l'absorption de l'eau disponible diffère de façon considérable selon les catégories végétales, vu qu'elle dépend de la transpiration requise qui est déterminée par le climat (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Ces différences entre les catégories végétales s'expliquent probablement par les différences individuelles des plantes quant à la tension interne d'absorption et à l'enracinement (DE WILLIGEN & VAN NOORDWIJK 1987).

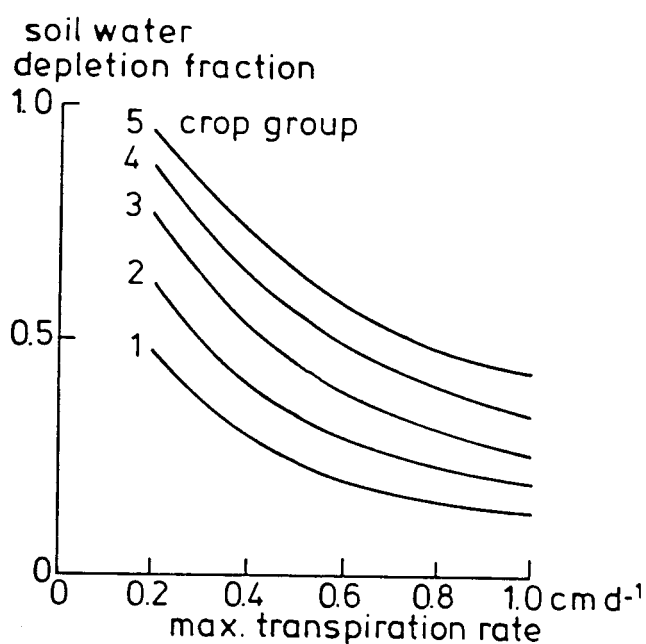


Figure 1 Efficience de l'utilisation de l'eau disponible par un végétal, en fonction du taux de transpiration maximale pour cinq catégories végétales, variant de légumes verts (catégorie 1) aux céréales (catégorie 5), à laquelle appartient le sorgho; la figure est une synthèse des expériences agronomiques dans l'agriculture irriguée (DOORENBOS & KASSAM, 1979) indiquant la partie de l'eau qui peut être utilisée avant qu'un déficit hydrique nuise à la production de matières sèches.