

2 De la méthode de recherche

2.1 INTRODUCTION

Des techniques agronomiques, écologiques, microbiologiques et pédologiques usuelles ont été appliquées pour la recherche du P.P.S. sur le terrain au Sahel, au laboratoire à Bamako et à Wageningen, et dans des chambres climatiques à Wageningen. Elles seront expliquées dans les différents chapitres quand la nécessité s'en fait sentir. Il y a cependant 2 raisons qui nous ont amenés à porter une attention particulière à la méthode de recherche et ce, dans un chapitre spécial.

La première raison concerne l'utilisation des modèles à simuler pour formuler la problématique et pour l'interprétation des résultats. Ceci est fait ici plus qu'on ne le fait en général et c'est pourquoi il est nécessaire d'éclairer cette approche des modèles. Les parties 2.2 et 2.3 servent à ce but. Mais on a pris soin pour que les chapitres individuels et le livre dans son ensemble puissent être compris sans qu'il soit nécessaire de se pencher sur les aspects techniques de la simulation et de la construction des modèles. Le développement des modèles à simuler a eu lieu à Wageningen.

La deuxième raison concerne les circonstances difficiles dans lesquelles le travail expérimental et la recherche écologique devaient être exécutés. Ceci ne concerne pas seulement l'hétérogénéité du terrain et de la végétation naturelle, mais aussi la disponibilité des ressources techniques, la grande étendue de la zone et les difficultés de transport sur des routes 'impraticables', particulièrement en hivernage, et sur des grandes distances. Pour pouvoir rassembler autant que possible des informations utiles dans de telles conditions et dans un délai relativement court, il a été nécessaire d'appliquer des techniques expérimentales et statistiques qui, dans des circonstances plus normales, peut-être, ne seraient pas entièrement satisfaisantes vu les demandes méthodiques. Ces méthodes sont discutées et justifiées dans les parties 2.4 et 2.5 de ce chapitre.

2.2 L'ANALYSE DES SYSTEMES DE PRODUCTION PRIMAIRE

En faisant de la recherche appliquée sur la culture des plantes, on essaie souvent d'établir une fonction de production qui est statique et descriptive. Une telle fonction quantifie la production d'une culture en se basant sur les valeurs des facteurs de production, valeurs qui peuvent varier d'une année à l'autre, d'un lieu à un autre, d'une culture à une autre, ou bien elles varient parce que celui qui fait les recherches peut choisir ces valeurs. Le terme 'facteur' peut représenter des choses bien différentes, telles que: le rayonnement, la température, la quantité disponible d'éléments nutritifs et d'eau, les caractéristiques physiques et chimiques du sol, mais aussi le travail

effectué, les capitaux investis et d'autres choses encore.

A l'exception de cas où les circonstances sont très simplifiées, on n'a pas réussi à développer des fonctions de production de ce type utilisables en pratique, basées sur les données statistiques et sur les résultats des recherches pratiques. Ceci n'est pas étonnant: la croissance des plantes est un complexe des processus qui s'accomplissent dans l'espace et dans le temps. La vitesse de croissance ne change pas proportionnellement à des changements des facteurs de production et souvent même avec un retard. En plus, les facteurs de production changent sans cesse et le résultat de chaque combinaison de traitements dépend fortement du 'timing', c'est-à-dire: du moment où les conditions sont réalisées et aussi du stade de la végétation et de l'état du sol à ce moment. Ainsi les carences en éléments nutritifs se manifestent seulement au cours de la saison. L'effet d'engrais azotés par exemple peut être différent selon qu'ils sont ajoutés au sol avant ou après une période de pluies, et le début de la floraison dépend d'une variation minime dans la longueur du jour. Quelle que soit la manière dont on compose des fonctions de production, le résultat est qu'une seule combinaison de facteurs de production qui, selon la formule, devrait toujours mener à une seule production, peut mener en pratique à des productions très différentes. Un exemple est donné dans la partie 3.2.4 où il est montré que la même pluviométrie dans 2 années différentes peut causer des biomasses végétales différentes.

Il y a un autre inconvénient à de telles fonctions de productions, à savoir que les processus qui déterminent la croissance des plantes ne sont pas reconnaissables dans ces types de fonction de production, de sorte qu'il devient très difficile d'employer rationnellement les connaissances fondamentales qui s'y rapportent. Il en résulte que les fonctions de production ne sont guère applicables aux autres régions, aux autres années ou aux autres cultures. On devrait s'occuper donc continuellement de l'expérimentation, du groupement des données et de leur adaptation statistique.

En principe, ces problèmes ne se posent pas quand on utilise des modèles des processus dynamiques, dont on parlera en détail dans la partie 2.3. Dans ces modèles on considère qu'à chaque moment la vitesse de croissance dépend des conditions de croissance du moment même, et qu'on trouve la croissance totale en simulant ces vitesses pendant toute la saison de croissance. Donc il est nécessaire de connaître les conditions de croissance à chaque moment par mesure directe, par déduction à l'aide d'autres observations ou par estimation.

La recherche fondamentale progresse pour récolter la connaissance des processus biologiques, physiques et chimiques qui se rapportent à la croissance des plantes mais elle est encore loin d'être complète. Vu la durée brève du projet (4 ans) le P.P.S. aussi n'a pu résoudre que quelques questions et ajouter leurs réponses à la connaissance déjà disponible.

Une vue totale des problèmes scientifiques sur la production primaire nous fait constater d'une part que la connaissance des végétations est trop compliquée pour faire une analyse statistique des observations faites qui nous amène à une fonction de production statique et descriptive et qui est utilisable dans tous les cas. D'autre part, bien des processus qui déterminent la croissance des plantes sont encore trop peu connus pour construire des modèles dynamiques des processus pour tous les cas. Donc en pratique il ne

nous reste que l'approche opportuniste du problème, dans laquelle les 2 méthodes jouent un rôle et se soutiennent mutuellement. En plus on ne craint pas le renversement de la position du problème. C'est-à-dire qu'au lieu de répondre à la question: quelle production va avec quelle combinaison de facteurs de croissance? on répond à la question: quelle combinaison de facteurs de croissance peut servir en pratique, pour obtenir telle ou telle production?

Dans le projet P.P.S., on a essayé de concrétiser cette interaction des études analytiques et descriptives dans une approche hiérarchique des problèmes. Cette approche est basée sur la constatation que les facteurs naturels qui peuvent limiter la croissance et la production sont multiples, mais qu'ils ne sont pas tous aussi importants dans tous les cas. Dans le cas d'une productivité élevée, ces facteurs déterminants ne sont pas les mêmes que dans des cas de production basse. On peut donc étudier la croissance des plantes en se limitant exclusivement aux facteurs de production les plus pertinents. Cette approche simplifie l'application des modèles à simuler sur les niveaux de production distingués. Les niveaux de production dont il s'agit sont rangés ci-dessous hiérarchiquement et par ordre de production décroissante.

Le temps limite la production végétale s'il n'y a pas un manque d'eau, d'azote ou des minéraux pour les plantes, de sorte que la croissance est déterminée uniquement par les caractéristiques physiologiques des plantes et par les facteurs météorologiques, dont le rayonnement et la température sont les plus importants. On trouve cette situation sur des terrains irrigués bien pourvus d'engrais. On a développé des modèles de la production et de la transpiration pour de telles situations qu'on appelle aussi la situation de production potentielle. Dans le projet P.P.S. on a utilisé le modèle BACROS (De Wit et al., 1978), qui est développé pour de telles situations au département d'Ecologie Théorique de l'Institut National Agronomique à Wageningen.

Un autre niveau de production se présente s'il n'y a pas un manque d'azote ou de minéraux, mais quand les réserves en eau dans le sol sont limitées. On appelle cette situation la production potentielle des terrains naturels des zones semi-arides, où l'irrigation est absente, et l'eau vient de pluies uniquement, des fois redistribuée par écoulement. Pour cette situation, le P.P.S. a utilisé le modèle ARID CROP (Van Keulen, 1975) développé dans le même département de l'Institut National Agronomique pour des zones semi-arides avec des pluies hivernales.

Il faut vérifier les résultats des modèles des processus en question, quand ils doivent être appliqués dans des régions avec un climat différent où l'on n'a pas encore fait des recherches. Ceci était surtout valable pour le modèle ARID CROP, et dans une certaine mesure aussi pour BACROS. Le but d'une partie des activités expérimentales dans le projet P.P.S. était justement de faire de telles recherches.

Très souvent, la productivité est beaucoup plus basse qu'on ne pourrait attendre sur base de la disponibilité de l'eau. Deux situations peuvent être distinguées:

- L'azote limite la production. Dans ce cas, il n'y a pas un manque des minéraux, mais la disponibilité d'azote pour les plantes n'est pas optimale.
- La disponibilité de phosphore ou d'autres minéraux limite la croissance pendant une partie ou pendant toute la saison. Ce cas se rencontre également souvent sur des sols pauvres. Dans ce livre, on peut se limiter à l'étude de l'azote et du phosphore, comme

discuté dans la partie 5.1.

Ces dernières situations se caractérisent par une production faible. La différence entre les 2 est souvent difficile à constater, entre autres parce que la fourniture d'azote et la fourniture de phosphore pour les plantes sur des sols non-fertilisés sont étroitement liées. Des modèles existent à ces niveaux de production (Penning de Vries, 1980). Pourtant, la quantification des processus est souvent difficile parce qu'il s'agit de quantités très limitées dans les conditions sahéliennes (l'absorption par saison est seulement de l'ordre de 10 kg ha^{-1} pour N et 1 kg ha^{-1} pour P) et pose même des problèmes d'identification des processus importants.

2.3 LA SYNTHÈSE ET LA SIMULATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION PRIMAIRE

Dans ce qui précède on a signalé l'importance dans le projet P.P.S. des modèles dynamiques de processus ou, autrement dit, des modèles à simuler. L'application de cette technique de modèles à simuler demande tant de connaissances sur ce terrain spécifique que le lecteur qui s'intéresse particulièrement à ce sujet, est conseillé de lire les comptes rendus de la littérature spéciale: (Ferrari, 1978, De Wit et Goudriaan, 1978, Penning de Vries, 1982a). Afin de donner quand même une idée de cette technique, on donnera dans cette partie un bref exposé de la technique de simulation et puis on discutera quelques aspects de l'application. Cette technique détermine un ordre de traitement des sujets et une façon d'argumenter qui sont suivis dans ce compte rendu.

Les modèles sont des représentations simples des systèmes, définissant un système comme une partie cohérente du monde réel. Il y a plusieurs types de modèles. Avec des modèles dynamiques, on imite des aspects du comportement (les changements des valeurs numériques des variables) du système réel. Si la formulation des relations dans le modèle est plus ou moins analogue aux relations entre les processus dans la réalité, on parle de *modèles à simuler*. Plus la formulation du modèle suit la réalité, plus le comportement du modèle suit aussi la réalité.

Dans les modèles à simuler, les éléments de base sont des quantités de matière ou d'énergie, des vitesses de changement de ces quantités et l'influence de l'environnement. Les quantités (ou proprement dit: *variables d'état*) sont par exemple la biomasse, le nombre de plantes, la quantité d'azote dans le sol, la teneur en eau, la température du sol, etc. Les *variables de vitesse* représentent les changements dans le temps des variables d'état. Leurs valeurs sont déterminées par les variables d'état d'une part, et par des variables externes d'autre part, à l'aide d'équations et paramètres propres à ces calculs. Cette quantification des relations est faite sur la base des connaissances sur les processus biologiques, physiques et chimiques; elle n'est pas faite par une analyse statistique du système à interpréter. Des *variables externes* caractérisent l'influence de l'environnement au système étudié. Elles peuvent être des variables météorologiques comme la pluie, la température de l'air, le vent, le rayonnement, ou bien la quantité de minéraux ajoutés au système.

Après avoir fait le calcul des vitesses, celles-ci sont réalisées dans un bref intervalle de temps selon le schéma suivant: la variable d'état à un moment $t + \Delta t$ équivaut à la variable d'état à un moment t plus la vitesse à un moment t multiplié par Δt :