



ÉTUDES DE STATISTIQUE AGRICOLE

5

**Méthode des densités de charge, modèle d'analyse et de
prévision de la production de fruits à pépins**

F. Winter

OSCE 16

L'O.S.C.E. publie, dans le cadre de ses «Informations internes de la statistique agricole» sous le titre «Études de statistique agricole», certains travaux de recherche effectués à la demande et pour les besoins de l'Office. Le regroupement de ces publications dans une série spéciale devra permettre de toucher un nombre aussi élevé que possible de lecteurs s'intéressant aux questions de méthode.

Les études en cause ont été confiées à des experts ou à des groupes d'experts dans le but d'obtenir une analyse exhaustive de certains problèmes statistiques, de parvenir à l'amélioration des méthodes, d'atteindre un degré de comparabilité plus élevé des données existantes et de mettre en œuvre des informations nouvelles.

Étant donné le caractère parfois très spécifique des travaux, l'O.S.C.E. se propose de n'en publier que ceux qui sont consacrés à des questions d'une portée suffisamment générale.

En principe les études paraissent en français et en allemand. Lorsque les auteurs ont rédigé l'original dans une autre langue, l'O.S.C.E. peut se charger, suivant l'intérêt des lecteurs, d'une édition supplémentaire présentant la version originale.

Il convient de souligner que les textes publiés n'engagent que la responsabilité des auteurs.

1969

"Institut für Obstbau und Gemüsebau"
de l'université d'Hohenheim
(Ecole supérieure d'agriculture)
Station de Bavendorf
Directeur: Pr. Dr. G. Buchloh

Méthode des densités de charge, modèle d'analyse et
de prévision de la production de fruits à pépins

par

F. Winter

1969

Avant-propos

Mes premières réflexions sur l'amélioration de la prévision des récoltes de fruits à pépins m'ont été inspirées par un certain nombre de négociants de la région du lac de Constance, qui ont exprimé le désir d'obtenir des informations aussi exactes et précoces que possible sur les perspectives de récolte pour l'année en cours. En 1965, mes recherches sont venues à la connaissance de l'Office statistique des Communautés européennes, lequel m'a donné la possibilité, pour la première fois en 1966, d'étendre ces travaux à différentes régions de culture des pays de la C.E.E. Au cours des années 1967 et 1968, le projet a pu être poursuivi et les recherches intensifiées, non seulement grâce à l'aide renouvelée de cette Institution mais aussi à l'intérêt croissant des organismes nationaux.

Ces travaux m'ont considérablement absorbé au cours des dernières années et ont parfois exigé l'ajournement d'autres tâches que j'assumais dans le cadre de l'Institut. Je suis infiniment reconnaissant à M. le Professeur HUCHLOH qui, non seulement a bien voulu encourager mes travaux, mais qui a également accepté de reporter l'étude d'autres problèmes à une date ultérieure.

La collecte et le traitement des nombreuses données ne m'ont été possibles que grâce à l'activité infatigable de mon assistante, Madame E. von KÖNIG. Mes remerciements vont aussi à Mlle A. AMANN, qui m'a déchargé des tâches administratives et qui a assuré les travaux dactylographiques, ainsi qu'à M. BRÖMME, qui s'est chargé de l'établissement des diagrammes.

Les recherches sur une base plus large, suprarégionale, n'ont pu être menées à bien que grâce aux initiatives de M. THIEDE, Chef de division à l'Office statistique des Communautés européennes, lequel m'a prodigué ses encouragements dès le stade initial des travaux et m'a permis d'avoir les contacts indispensables avec des collègues spécialisés dans tous les pays de la C.E.E.

Mes recherches dans les régions de culture situées à l'étranger ont pu être bénéfiques grâce à l'accueil favorable qui m'a été réservé partout. Maints conseils d'ordre technique, maintes idées nouvelles ont été exprimés, qui, directement ou indirectement, ont pu être mis à profit dans le présent ouvrage.

Je remercie tout particulièrement pour l'aide qu'ils m'ont fournie et les renseignements qu'il m'ont transmis:

en France:

M. le Professeur COUTANCEAU (Versailles), M. CORDIER (Toulouse)

en Belgique:

MM. Paul NICOLAI (St. Truiden), JANSEN et LIARD (Gembloux) et
BOUDEWIJN (Hasselt)

en Italie:

Sigg. Dott. MERCATI (Rome), GIBERTI (Ferrare) ainsi que
Sigg. Dott. LEZUO et REDEN (Bolzano)

aux Pays-Bas:

MM. Ir. van WELY (La Haye), Dr. ROOSJE et Ir. WERTHEIM (Wilhelminadorp)

en République fédérale d'Allemagne:

MM. les Professeurs Dr. LOEWEL (Jork) et Dr. HILKENBÄUMER (Bonn)

Je dois à une initiative de la Chambre agricole de Rhénanie d'avoir pu, dès 1966, expérimenter ma méthode dans son ressort, et j'en remercie vivement M. le Professeur Dr. REINKEN et ses collaborateurs.

Dans le domaine des mathématiques, de nombreux conseils m'ont été prodigués par MM GEIDEL et KAISER, du Centre de calcul de l'université de Hohenheim.

Enfin, la prévenance de MM. les Professeurs BAUER et BRAUCH de la
"Staatliche Ingenieurschule" de Ravensbourg m'a valu le grand avantage
de pouvoir poursuivre mes recherches en utilisant l'ordinateur de
l'institut.

Table des matières

	Page
Exposé succinct	1
I. <u>Introduction</u>	
1. Problèmes posés par la prévision du rendement des fruits à pépins	3
Résumé I,1	7
2. Méthodes de prévision traditionnelles	8
2,1 Prévision potentielle	8
2,2 Prévision courante	10
Résumé I,2	14
3. Comment rendre objective l'estimation de la charge de fruits d'un arbre donné	15
Résumé I,3	16
II. <u>Les critères spécifiques du rendement constituant la base du modèle</u>	
Introduction	18
1. Définition des critères spécifiques du rendement	21
Résumé II,1	32
2. Caractérisation de certains processus de croissance par des fonctions de croissance	33
Résumé II,2	34
3. Potentiel-arbres	34
3.1 Exposé du problème	34
3.2 Fonctions naturelles de la croissance de la couronne	36
3.3 Paramètres de croissance de la couronne	42
3.4 Le développement des arbres surgreffés	47
3.5 Relation entre la croissance du tronc et de la couronne	49
3.6 Problème de la limitation artificielle de la croissance des arbres en enclos	50
Résumé II,3	56
4. Densité de charge en fruits	57
4.1 Exposé des problèmes relatifs à la densité de charge en fruits	58
4.2 Mesure des valeurs moyennes de densité de charge	62
4.21 Influence des facteurs environnementaux	62
4.22 Relation entre les densités de charge de différentes variétés	63

	Page
4.23 Relation entre les densités de charge de différents arbres de la même variété	64
4.24 Conclusions	65
4.3 Echantillonnage des densités de charge	67
4.31 Sélection des arbres-échantillons	70
4.32 Homogénéité et ampleur de l'échantillon de densité de charge	72
Résumé II,4	75
5. Poids des fruits	75
5.1 Exposé du problème	75
5.2 Modèle de calcul du poids des fruits	77
5.3 Méthodes d'enquête sur le poids des fruits	82
5.31 Méthodes directes	82
5.32 Méthodes indirectes	84
5.4 Corrélation "diamètre des fruits/poids des fruits"	87
5.5 Prévision de la croissance des fruits	92
5.51 Exposé du problème	92
5.52 Modèle de prévision de la croissance des fruits	98
5.53 Application du modèle	100
Résumé II,5	104
<u>III. Modèle global et son application</u>	
1. Fonction centrale	106
2. Traitement de données statistiques sur les cultures	106
3. Calcul du potentiel arbres	115
4. Traitement des mesures de densité de charge et d'accroissement des fruits	117
5. Coefficient afférent à la récolte et à la commercialisation	118
5.1 Pertes à la récolte	118
5.2 Flux des marchandises de la récolte à la commerciali- sation par les producteurs	120
6. Schéma d'organisation du modèle en vue d'un traitement sur ordinateur, en l'occurrence IBM 1130	124
6.1 Paramètres de base	124
6.2 Avant-programmes	125
6.3 Programme principal	125
7. Exemples d'application	126
8. Perfectionnement du modèle	128
Résumé III	129
<hr style="width: 20%; margin-left: 0;"/>	
Bibliographie	131

Exposé récapitulatif

La faible élasticité de l'offre en matière de fruits à pépins dont la culture exige une longue période de démarrage et des investissements élevés, comporte d'une part le risque d'un décalage entre l'offre et la demande mais favorise d'autre part l'établissement de prévisions à moyen terme concernant la capacité de production. Jusqu'ici néanmoins, on n'a pas encore réussi à trouver des modèles de prévision fruitière qui répondent aux conditions biométriques posées et n'exigent pas de trop grandes dépenses. Notamment, l'estimation du rendement sur les arbres eux-mêmes a généralement été laissée à l'intuition des experts.

Se fondant sur les trois critères spécifiques du rendement, à savoir, le potentiel-arbres, la densité de charge et le poids des fruits, l'auteur propose un modèle de prévision basé sur des critères mesurables. A l'aide de données provenant de différentes zones de production d'Europe, on s'efforce de définir les processus de croissance des arbres et des fruits sous la forme de fonctions de croissance et de paramètres. Il est fait, à cet égard, une distinction entre les paramètres de base, valables à long terme ou sans limite de temps, et les paramètres courants qui doivent être relevés chaque année ou plusieurs fois l'an.

La prévision repose sur une statistique des vergers. Alors que la prévision potentielle (pluriannuelle) de la production utilise certains paramètres de base pour déduire, à partir de la pyramide d'âge présentée dans la statistique des vergers, la capacité de production - et non pas la production - afférente à l'année considérée, la prévision courante (relative à l'année en cours) fait appel à des paramètres courants portant sur la densité de charge et le poids des fruits, déterminés par échantillonnage.

L'auteur étudie, à l'aide d'exemples, les paramètres nécessaires à l'établissement du modèle ainsi que les problèmes que pose leur obtention. Il décrit notamment l'échantillonnage effectué pour déterminer la densité de charge ainsi qu'un modèle partiel destiné à la prévision annuelle du poids des fruits, d'après un échantillonnage de leur diamètre.

Il traite enfin de l'exploitation du modèle sur l'ordinateur IEM 1130.

Pour une large part, les paramètres utilisés dans le modèle et figurant dans les tableaux ne reposent encore que sur un nombre insuffisant d'informations ou ne représentent que des estimations. C'est dire que, s'ils permettent de déterminer des ordres de grandeur et de faire la démonstration du modèle, ils ont encore besoin d'être perfectionnés et contrôlés au plan de la statistique.

Remarque: Les résumés figurant à la fin de chaque chapitre fournissent un aperçu un peu plus détaillé (voir table des matières). On se référera en outre aux schémas des figures 22 (page 106 a) et 24 (page 124 a).

I. Introduction

1. Problèmes posés par la prévision de la production des fruits à pépins.

L'arboriculture fruitière est une culture de longue durée. On ne peut généralement pas attendre un rendement économique avant la 4e année de végétation, un ensemble d'arbres fruitiers atteignant sa pleine capacité de production entre la 4e et la 12e année après sa plantation, selon le système de culture utilisé, le comportement variétal et les influences de l'environnement.

Aussi le producteur de fruits n'est-il pas en mesure, en période de conjoncture favorable, d'adapter à court terme sa production à une demande croissante. Inversement, si rien ne s'oppose théoriquement à une réduction à court terme de la production, l'arrachage de plantations pleinement productives affecterait la rentabilité de la culture fruitière, compte tenu du montant élevé des coûts fixes. La plupart des producteurs ne se résoudraient à une telle mesure irréversible que s'ils ne pouvaient espérer une amélioration rapide de la situation, c.a.d. après un certain nombre d'années de crise.

Considérée sur une période de 10 à 15 ans, l'élasticité de l'offre en matière d'arboriculture fruitière est donc extrêmement faible. A long terme, en revanche, c'est-à-dire lorsqu'on considère des périodes supérieures à la durée de vie d'une génération (environ 20 ans), les conditions sont réunies pour une certaine élasticité de l'offre, car, comme pour la plupart des cultures spéciales, les sujétions internes, notamment dans les exploitations les plus importantes, sont faibles (WEINSCHENCK 1954). Au surplus, les exigences relativement élevées que pose l'arboriculture fruitière intensive en matière de climat et de sol ne permettent l'épa nouissement de ce genre d'exploitation que dans des sites où, en général, une culture maraîchère ou une culture de plein champ assez exigeante serait également possible.

Comme, en définitive, la production de fruits (de même que l'ensemble de la production agricole) est répartie entre une multitude d'exploitations de taille petite et moyenne, les trois conditions essentielles à la réalisation de fluctuations cycliques de l'offre et des prix définies par STAMER (1966) sont remplies :

1. une élasticité relativement élevée à long terme des prix à la production,

2. la longue durée du processus de production et, par conséquent, une faible élasticité de l'offre à court (et à moyen) terme;
3. la "concurrence atomistique" qui permet difficilement de se faire une idée générale du marché et de coordonner la production, et qui conduit les "offrants" à assimiler le prix courant au prix escompté.

Plate (1968) distingue une adaptation à court terme et une adaptation à long terme de la production, cette dernière supposant une modification de la capacité de production. Comme, selon lui, les investissements liés à cette opération ont pour conséquence une faible élasticité, précisément en ce qui concerne une limitation de la production, les fluctuations cycliques se trouvent amorties. Il ne fait toutefois pas de doute que la production de fruits à pépins en Europe soit entrée dans une phase de fluctuation cyclique de l'offre, même si celle-ci est de faible amplitude en raison du manque d'élasticité.

La figure 1 montre dans quelle mesure l'expérience des prix de l'année est, dans le domaine de la culture fruitière, projetée dans l'avenir. Certes, les variations annuelles des superficies nouvellement plantées ne déclenchent pas de variations sensibles de la production, car elles ne concernent chaque fois qu'une fraction de la production globale. Mais tout porte à conclure qu'à long terme également, en présence d'une relation de dépendance aussi nette entre le pourcentage annuel de plantations nouvelles et le prix moyen saisonnier, la tendance aux plantations nouvelles suit largement la tendance des prix.

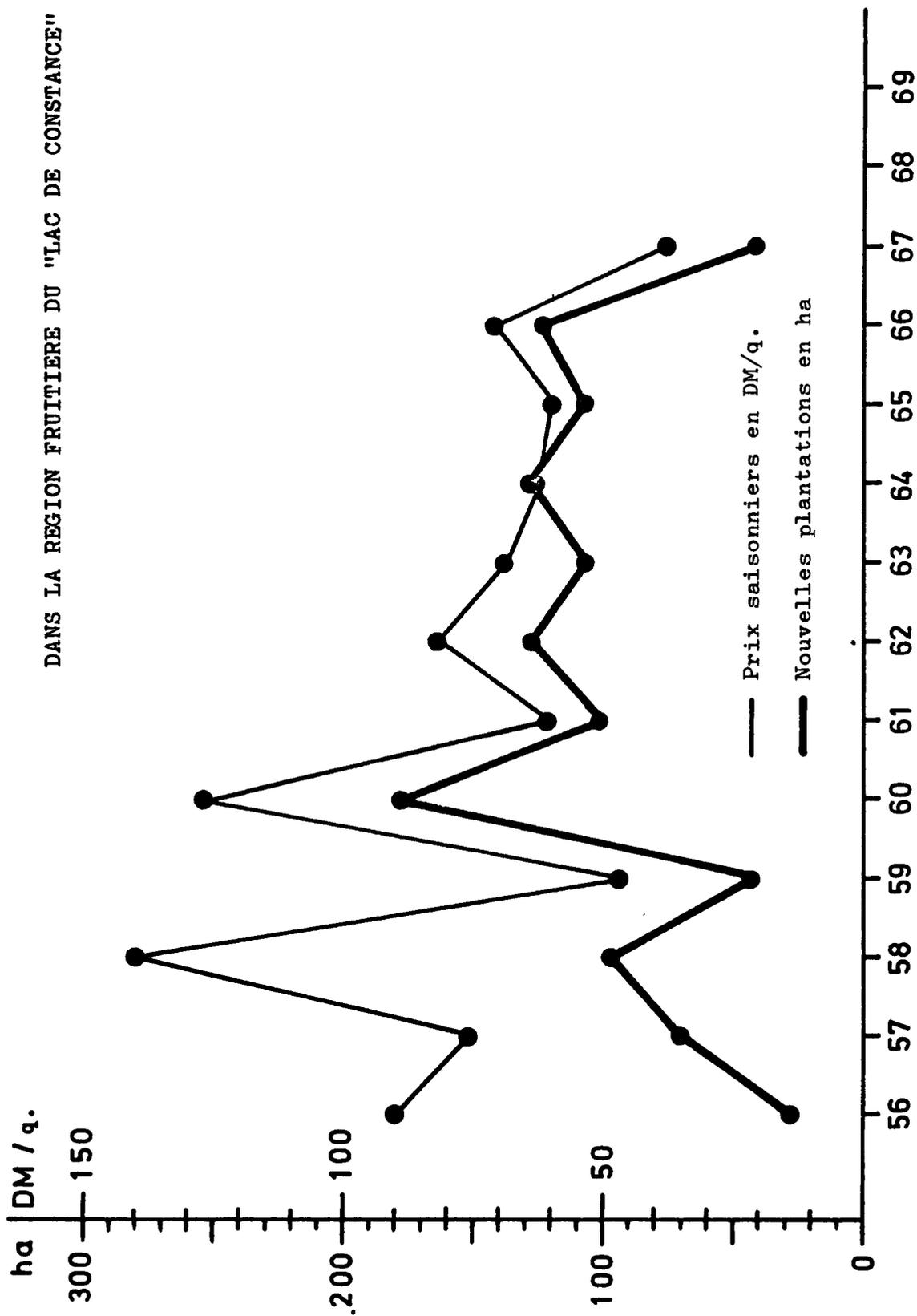
Avant que les fruits ne soient commercialisés dans une mesure notable sur un plan supra-régional, ou même mondial, les disparités régionales de l'offre donnaient lieu entre les diverses régions à une évolution différente de la tendance des prix. Ce n'est qu'après la deuxième guerre mondiale que les fruits ont acquis une place importante comme produits du commerce mondial et que de ce fait, l'interpénétration des marchés s'est développée. Il en est résulté une interdépendance croissante entre les tendances régionales en matière de prix. Or, si la tendance de la production suit la tendance des prix, cela signifie que la production peut évoluer parallèlement dans les différentes régions, ce qui accroît le danger d'une disparité entre l'offre et la demande.

Dès 1964, STORCK prévoyait une évolution divergente de la production et de la consommation. Depuis lors, se fondant sur des analyses plus ou moins

PRIX SAISONNIERS ET PLANTATIONS NOUVELLES DE COX'S ORANGE

DANS LA REGION FRUITIERE DU "LAC DE CONSTANCE"

①



complètes, des voix de plus en plus nombreuses ont dénoncé le danger d'un mouvement cyclique de l'offre (MAINIE 1965, 1966, ORLANDO 1963, THIEDE 1967, WINTER 1968). Les effets de cette évolution peuvent être pratiquement constatés depuis quelques années. La "vague de plantations nouvelles" s'est arrêtée sans que la progression de la capacité de production - déphasée il est vrai d'au moins 6 ans - ait déjà atteint son point culminant.

Cette évolution donne au problème de la prévision des récoltes fruitières un caractère d'actualité particulier. Une argumentation convaincante basée sur des calculs valables aurait peut-être pu, il y a quelques années, atténuer le mouvement cyclique extrême qui s'accomplit aujourd'hui.

Les considérations évoquées jusqu'ici concernent les prévisions pluri-annuelles. Elles doivent être fondées dans chaque cas sur le potentiel de fructification, lequel est déterminé par un nombre et un volume annuellement variables d'arbres susceptibles de rendement, à savoir le "potentiel-arbres". On suppose à cet égard que ce potentiel produira une charge "normale", conforme aux propriétés variétales et aux conditions écologiques en présence. Or, en réalité, la charge fruitière effective varie considérablement d'une année à l'autre en fonction des conditions météorologiques. Elle s'écartera donc plus au moins du "rendement normal". Aussi la prévision pluriannuelle ne peut-elle porter que sur la "capacité de rendement". Pour la gestion prévisionnelle annuelle, elle doit être complétée par une prévision annuelle ayant pour objet de définir aussi valablement que possible quelle sera la récolte effective, compte tenu de la charge en fruits de l'année.

Conformément aux définitions traditionnelles de la théorie des marchés, la prévision annuelle devrait être qualifiée de prévision à court terme, étant donné qu'elle ne permet plus aucune réaction de l'offre (STORCK 1964). La prévision pluriannuelle devrait, quant à elle, être qualifiée de prévision à moyen terme tandis que la prévision à long terme ferait abstraction des perturbations passagères du marché, ainsi que des phénomènes cycliques affectant l'évolution de la production (STORCK 1964, GEFRIN 1964), et devrait donc porter, en matière de cultures fruitières, sur des périodes de plus de dix ans.

Les critères propres à l'économie de marché qui sont à la base de cette classification, ne rendent pas tout à fait compte des caractéristiques biologiques qui, précisément dans le cas des cultures permanentes, produisent leur effet dans le potentiel de production, d'une part et dans le taux d'utilisation (courant) de celui-ci, d'autre part.

Sans toucher aux notions propres à l'économie de marché, il s'agira donc ici d'établir une distinction complémentaire entre prévision potentielle et prévision courante:

La prévision potentielle de la production détermine le potentiel de fructification de l'effectif des arbres et fait appel, en ce qui concerne la nouaison, à certaines hypothèses moyennes reposant sur des données biologiques.

La prévision courante de la production remplace ces hypothèses par des paramètres courants relatifs à la charge de fruits et à la croissance des fruits, paramètres qui, toutefois, ne peuvent être établis qu'au cours de l'année de prévision elle-même, étant donné qu'ils peuvent être modifiés de manière décisive par certaines influences imprévisibles du milieu.

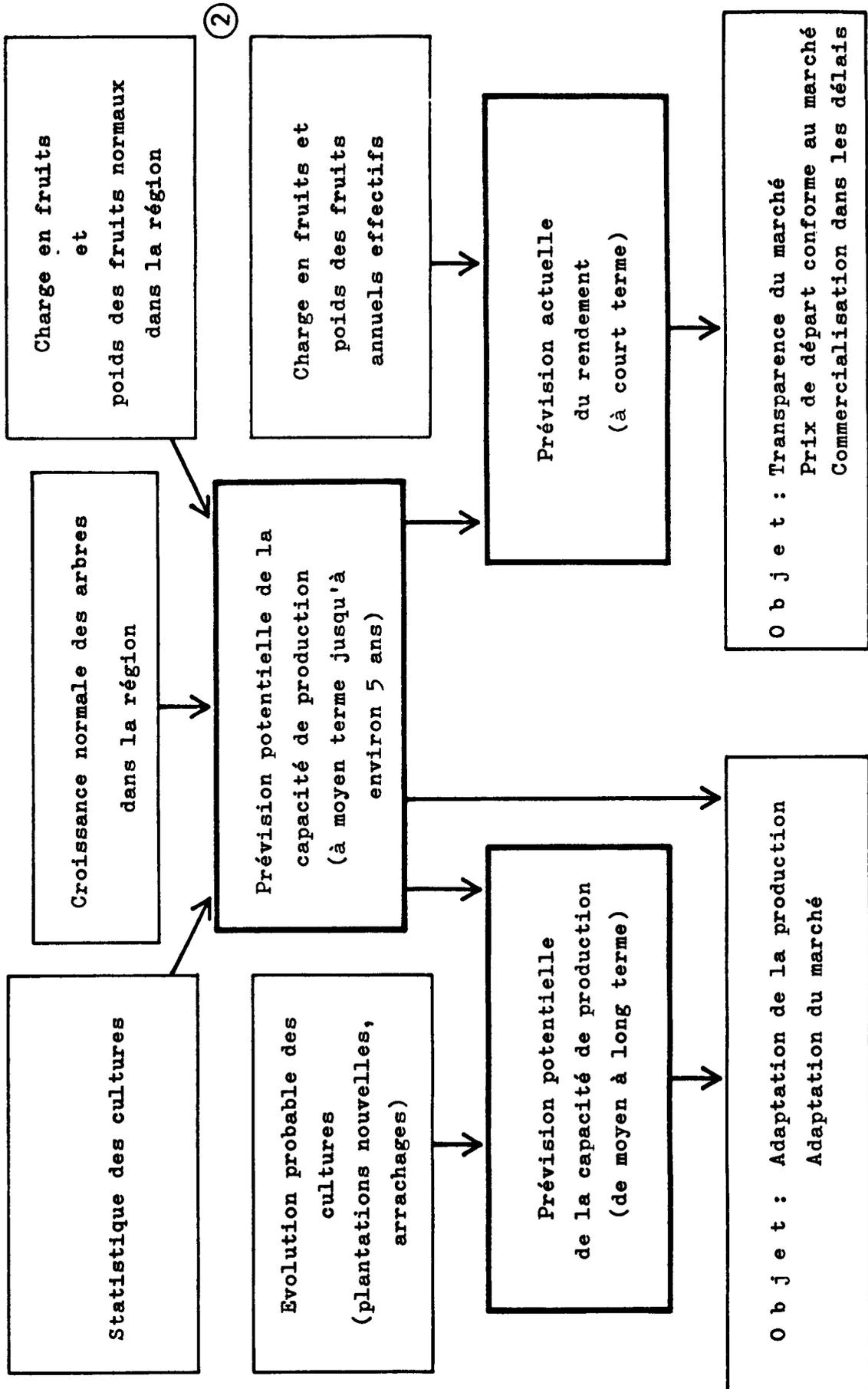
C'est dire que la prévision courante ne saurait jamais être qu'une prévision à court terme, tandis que la prévision potentielle pourrait théoriquement s'étendre sur n'importe quelle période.

Les chances de réaliser des prévisions de production à moyen terme rendant compte valablement de la tendance (et non pas de la production effective obtenue au cours d'une année donnée) sont plus favorables dans le cas de l'arboriculture que dans le cas des cultures annuelles, car il est possible, pour des prévisions allant jusqu'à quatre ans environ, de se fonder sur les effectifs d'arbres existants. La possibilité d'erreur inhérente à l'évolution de la mise en culture est inexistante en l'espèce, à condition d'estimer la tendance de l'arrachage.

Le schéma de la figure 2 tente d'éclairer les différences entre les diverses prévisions.

Les prévisions potentielles ont pour objet d'informer les producteurs et les négociants de l'évolution probable de l'offre de fruits suffisamment tôt pour qu'ils soient en mesure d'aligner les cultures sur l'offre et d'organiser la commercialisation.

PREVISION DE LA PRODUCTION EN ARBORICULTURE



La prévision courante viendrait trop tard pour servir un tel objectif. Mais elle peut contribuer de façon capitale à adapter de prime abord l'évolution annuelle du marché à l'offre effective, à définir le prix conforme au marché, à assurer que les produits seront commercialisés dans les délais et à permettre que les mesures de politique agricole qui s'imposent soient mises en oeuvre en temps utile.

La prévision des récoltes de fruits à pépins ne peut atteindre son objectif que si elle est établie variété par variété et ceci pour les raisons suivantes:

1. Le rendement des différentes variétés ne présente pas la même signification. En matière de prévisions pluriannuelles et à long terme, cet argument est évident car il arrive souvent que la culture de certaines variétés soit en régression alors même que la production d'autres variétés connaît une phase d'accroissement. Mais même dans le cadre d'une récolte annuelle, le rendement d'une variété donnée ne permet pas de tirer a priori des conclusions concernant une autre variété (voir aussi chapitre 4.2.).
2. Du point de vue de leurs propriétés commerciales et de leur valeur sur le marché, les différentes variétés ne sont pas interchangeables.

Cela résulte notamment des différences considérables dans leur date de maturation. Une récolte record des variétés précoces, généralement commercialisées jusqu'en octobre, peut exercer une influence psychologique indirecte sur la commercialisation des variétés stockées et vice versa. Mais même si l'on considère les variétés commercialisées à la même époque, on constate souvent des différences d'une variété à l'autre en ce qui concerne l'évolution du marché et des prix, comme cela ressort notamment des travaux de JANSSEN (1964, 1965, 1966, 1967) et de LÖHDEN et RAUTENBERG (1964, 1965, 1966, 1967).

- - - - -

Résumé I,1

La longue durée d'existence des cultures fruitières et le fait qu'elles n'entrent en production qu'un certain nombre d'années après leur mise en place entraînent une faible élasticité de l'offre. Il en résulte un risque de divergence considérable entre l'offre et la demande,

lorsque les producteurs ne disposent pas d'informations sous forme de prévisions de production. Mais, d'autre part, les mêmes raisons font que les chances sont grandes d'obtenir une prévision à moyen terme exacte de la capacité de production.

En sus de la distinction traditionnellement retenue dans la théorie du marché entre prévisions à court, à moyen et à long terme, on distingue ici, d'après certains critères biologiques, la prévision potentielle (basée sur le potentiel de fructification) et la prévision courante (basée sur la connaissance de la charge de fruits effective).

La prévision potentielle doit être complétée chaque année par la prévision courante, qui tient compte de la charge de fruits déterminée par les conditions météorologiques.

La prévision des récoltes de fruits à pépins doit être effectuée variété par variété, les différentes variétés n'ayant pas souvent le même comportement quant au rendement annuel et n'étant pas interchangeables à volonté sur le marché.

2. Méthodes de prévision traditionnelles

2.1. Prévision potentielle

Jusqu'ici, les prévisions potentielles du rendement des arbres fruitiers ont été effectuées de trois manières différentes:

Une méthode relativement primitive est celle qui consiste à effectuer une extrapolation de tendance d'après les statistiques du marché des années antérieures. Elle peut certes fournir certains indices d'orientation mais est entachée d'incertitude (HANAU et WÖHLKEN 1962, STAMER 1966) et ne peut donc donner satisfaction à long terme. C'est par cette méthode, par exemple, qu'ORLANDO essaya en 1963 de prévoir par extrapolation la production fruitière de l'Italie jusqu'en 1975. Or, dès 1965, les quantités prévues par lui étaient atteintes (THIEDE 1967). En 1968, LÖHDEN, se fondant sur l'évolution du rendement pendant de nombreuses années, a effectué des calculs de tendance pour les principales variétés du bassin inférieur de l'Elbe, mais il a renoncé à toute extrapolation de tendance.

Pour estimer la production française de pommes jusqu'en 1975, MAINIE et autres se sont fondés sur le rapport entre la superficie cultivée et les chiffres de commercialisation d'années écoulées (enregistrés

par la statistique) pour déduire, des modifications intervenues entre-temps dans la superficie cultivée, une variation correspondante des quantités de fruits commercialisées (MAINIE 1965, 1968, MAINIE, OUDRHIGI, CORTOT et RABOUT 1966). Or, on donne de l'évolution du rendement des arbres fruitiers qui varie en fonction de leur âge une meilleure image que celle fournie par ce calcul proportionnel lorsqu'on établit la prévision sur des "échelles de rendement" en fonction de l'âge, comme l'a fait un groupe de chercheurs français (DELORME, HULIN, PETRY 1965, WEIL 1963) pour les pêches. La prévision de la production belge de fruits à pépins, telle que l'a effectuée JANSEN (1965), est également fondée sur de telles échelles de rendement. L'exemple le plus ancien d'utilisation de cette méthode en arboriculture fruitière nous vient des U.S.A. (LAWSON, HEISIG et HURD, 1941).

Dans tous les exemples, néanmoins, ces échelles de rendement représentent des "valeurs empiriques" propres certes à atteindre le but visé, à savoir déterminer l'ordre de grandeur de la production future, mais qui pourraient être sensiblement améliorées ou remplacées par un procédé plus détaillé. DELORME, HULIN et PETRY, entre autres, ont reconnu dans leurs études que de telles échelles de rendement doivent être non seulement individualisées par variétés mais qu'elles sont aussi sensiblement modifiées par certains facteurs relevant de la technique culturale et de l'écologie. Il ressort de leurs travaux qu'il devrait être impossible, si l'on tient compte de tous les facteurs susceptibles de modifier sensiblement le rendement, d'établir une échelle de rendement pour chacune des combinaisons de facteurs rencontrées dans la pratique. Si l'on veut utiliser le procédé dans les conditions d'écologie et de technique culturale les plus diverses, la multitude des combinaisons de critères possibles exige un nombre considérable de calculs préalable. C'est ainsi, par exemple, qu'en présence de 10 facteurs de modification du rendement, il faudrait, pour tenir compte de trois gradations différentes seulement, prévoir 3^{10} , c.à.d. 59.049 échelles de rendement. Le seul problème de l'affectation à retenir dans chaque cas exigerait un tel travail qu'il semble préférable de calculer le rendement d'après les critères significatifs pour chaque cas particulier, comme on s'efforce de le faire dans le présent travail.

2.2. Préviation courante

Si bien fondée soit-elle, la préviation potentielle de la production des arbres fruitiers ne peut donner une image valable des fluctuations annuelles du rendement, lequel est fonction des variations d'intensité de la nouaison. Quelle que soit la manière dont on calcule le rendement, on devra toujours se fonder sur un certain nombre de prémisses quant à l'aptitude au rendement des plantes fruitières. La préviation est fondée sur un certain potentiel de fructification. Elle se limite à la prédiction de ce que sera le rendement dans le cas d'une charge normale. Dans la mesure du possible, elle indique également les résultats dans une optique pessimiste et optimiste (cf.III-7).

Or, dans l'année de préviation elle-même les intéressés désirent avoir une notion concrète de la production à attendre. La préviation courante ne peut être effectuée avant que soient accomplis les processus du cycle phénologique qui décident de la nouaison définitive, c'est-à-dire, dans le cas des fruits à pépins, à partir d'un diamètre moyen des fruits de 30 mm (voir figure 9).

Des préviations de production annuelle sont effectuées d'une manière plus ou moins méticuleuse dans de nombreuses exploitations fruitières. Quant aux statistiques estimatives officielles, régionales et nationales, elles reposent aussi sur des estimations d'experts. Des méthodes diverses sont utilisées en l'espèce.

Le stade le plus primitif consiste en une appréciation relative de l'état de croissance. Une telle appréciation qualitative peut se justifier dans le cas de produits de plein champ annuels car l'évolution végétative des céréales, betteraves, etc. permet dans une certaine mesure d'estimer le volume de la récolte. Mais dans le cas des arbres fruitiers, la charge fruitière peut être modeste en dépit par exemple d'une excellente phyllotaxie, ou inversement. Il faut considérer d'autre part que la notion d'état de croissance "normal" revêt une signification quelque peu différente selon les conditions régionales de l'écologie et de la technique culturale. Aussi cette méthode n'est-elle plus guère appliquée aujourd'hui aux arbres fruitiers.

Dans de nombreuses régions fruitières, par exemple dans la province de Ferrare (communication verbale de MAZZINI, Ispettorato Provinciale

di Ferrara), on a jusqu'ici déterminé la production globale probable de chaque variété par une estimation du rendement probable par hectare et une extrapolation en fonction de la superficie cultivée. Toutefois, ce principe ne peut être appliqué avec quelque succès qu'en présence de conditions de culture et d'exploitation relativement homogènes, telles qu'elles se présentent effectivement dans la province de Ferrare. Il vaut au demeurant ce que vaut l'expérience de l'expert qui effectue l'estimation.

Des résultats d'estimation relativement valables sont obtenus depuis des années dans la province de Bolzano où certains exploitants expérimentés tentent chaque année d'estimer intuitivement la récolte globale en se fondant sur un aperçu général de la région. Grâce aux recensements des récoltes assez complets effectués par la chambre de commerce locale, ces experts sont depuis longtemps en mesure de contrôler les résultats de leurs estimations et de perfectionner sans cesse leurs étalons de mesure, si bien que leurs résultats présentent généralement une concordance remarquable avec le volume effectif de la récolte.

En dernière analyse, les estimations de cette nature, qui ont été effectuées jusqu'ici non seulement en Italie mais dans de nombreuses régions fruitières du monde, reposent essentiellement sur l'intuition de l'expert. Elles ne s'inspirent d'aucune méthode bien définie. De nombreux auteurs déplorent leur inexactitude (STRECKER 1957, WIRTH 1960, 1967, STADLER 1968, HOUSEMAN 1966). STADLER rapporte que les rendements des cultures fruitières disséminées et familiales de Bade-Wurtemberg ont dépassé de 46 % en 1966 et même de 77 % en 1967 les valeurs estimatives établies par les 1.565 rapporteurs bénévoles. LÖHDEN, lui aussi, (1967) considère les procédés traditionnels comme étant insuffisants.

Aussi des tentatives sont-elles déployées dans maintes régions pour remplacer ces facteurs subjectifs par des procédés objectifs:

Dès 1933, des estimations annuelles de récoltes fruitières avaient été effectuées dans l'ancien Reich allemand. Elles étaient fondées sur les recensements officiels de l'effectif d'arbres.

WIRTH, pour le Bade-Wurtemberg, a perfectionné ce procédé dont il a fait un "procédé spécial de détermination de la récolte de fruits", lequel a été appliqué pour la première fois en 1954 (WIRTH 1960). Certains arbres-échantillons sont sélectionnés selon un procédé de sondage stratifié à plusieurs degrés, sur la base du dernier recensement des arbres fruitiers. Les rapporteurs locaux ne procèdent pas seulement au cours de l'été à un certain nombre d'estimations de la récolte, destinées à l'établissement des prévisions. Ils déterminent aussi, au moment de la récolte, les rendements effectifs des arbres-échantillons, lesquels fournissent la base d'une extrapolation du volume global de la récolte. WIRTH a eu besoin en Bade-Wurtemberg de 2.000 arbres-échantillons pour garantir que le rendement moyen réel par arbre, avec un intervalle de confiance de 95,5 % s'écarterait au maximum de ± 5 kg de la valeur estimative trouvée. En fait, il n'est pas tenu compte ici que lors des mesures de récolte, des erreurs ne sont pas non plus à exclure de la part des nombreux rapporteurs qui ne possèdent pas la formation technique requise.

Depuis 1966, ce procédé spécial de détermination de la récolte est, sous un forme légèrement modifiée - les éléments d'échantillonnage n'étant plus les arbres individuels mais des "nids" de cinq arbres - utilisée uniformément dans l'ensemble de la République fédérale. Un progrès essentiel a été réalisé par le fait qu'on distingue à présent, sur la base du recensement des arbres fruitiers de 1965, trois "catégories d'implantation": arboriculture intensive, autre arboriculture fruitière de plein champ et arbres fruitiers situés dans les potagers, jardinets et jardins ouvriers. D'autre part, alors que jusqu'ici les opérations n'étaient effectuées séparément que par type de fruits, on tente à présent, dans le domaine de l'arboriculture fruitière intensive, d'obtenir également des résultats portant sur les principales variétés (WIRTH 1967, STADLER 1968).

Il ne fait aucun doute que les résultats de cette méthode spéciale de détermination de la récolte présentent un grand intérêt pour l'économie fruitière. Nous n'examinerons pas ici dans quelle mesure la fiabilité des informations obtenues peut être mise en doute pour des raisons de technique de recensement, ni dans quelle mesure leur différenciation est insuffisante (PLUM 1967).

L'objectif défini en l'espèce, à savoir une prévision de production qui, pour des raisons touchant à l'économie du marché doit être déjà établie un certain temps avant la récolte, ne peut être atteint par des opérations qui ne seraient effectués qu'au moment de la récolte.

Aux Pays-Bas, des échantillons sont tirés depuis 1966 des productions de différentes exploitations: en collaboration avec les chefs d'exploitation, le conseiller régional compétent estime, variété par variété, le rendement de certaines exploitations sélectionnées par échantillonnage. Jusqu'en 1967, les prévisions néerlandaises de rendement étaient fondées sur les chiffres globaux d'apport de marchandises à la criée, établis pour l'année écoulée par "l'Office Central Néerlandais de ventes à la criée". Par un calcul proportionnel, on déterminait l'apport global de marchandises à la criée pour l'année en cours en se fondant d'une part sur le rapport constant au cours de l'année écoulée entre les estimations faites dans les exploitations et l'apport des marchandises à la criée, et d'autre part sur les estimations faites dans les exploitations pendant l'année en cours. Depuis 1968, on extrapole à partir des superficies cultivées des exploitations - échantillons la superficie cultivée globale par variété. Malheureusement, les exploitations-échantillons ne constituent pas une sélection aléatoire, mais ont été désignées arbitrairement par les conseillers. Aussi sont-elles probablement mieux exploitées que la moyenne des exploitations. Au total, toutefois, on a l'impression qu'au moins dans le domaine de l'arboriculture fruitière intensive, l'estimation des productions des exploitations conduit à de meilleurs résultats que l'estimation des rendements par arbre. D'autre part, ce procédé permet d'enregistrer automatiquement les variations annuelles d'effectif, ce qui n'est pas nécessairement le cas lorsqu'on désigne des arbres-échantillons pour plusieurs années.

Abstraction faite d'un certain nombre d'autres facteurs d'incertitude qui, en dépit de l'utilisation de méthodes statistiques reconnues et éprouvées, entachent encore ces deux derniers procédés de prévision, ceux-ci, comme tous les autres procédés exposés, se caractérisent par l'absence de toute méthodologie ou systématisation dans le processus d'estimation portant sur l'objet lui-même.

Tant qu'on n'aura pas réussi à développer et à appliquer des critères d'estimation objectifs, la qualité de prévision restera dans une trop large mesure tributaire de l'expérience et de l'objectivité de l'expert.

Les Américains également expérimentent des modèles permettant d'estimer les récoltes de fruits selon des critères objectifs, car en Amérique aussi, les prévisions basées sur des estimations subjectives des producteurs n'ont pu, jusqu'ici, donner entière satisfaction (HOUSEMAN 1966, HENDRICKS 1963).

Résumé I.2

Exemples de prévision potentielle

1. Extrapolation de tendance
2. Calcul proportionnel culture/production
3. Extrapolation à partir de la pyramide d'âge, d'après des échelles constantes de rendement établies en fonction de l'âge.

Exemples de prévision courante

1. Estimation globale intuitive au jugé et par référence aux résultats obtenus antérieurement.
2. Estimation intuitive du rendement à l'hectare et extrapolation portant sur la superficie cultivée globale.
3. Estimation intuitive du rendement par arbre effectuée sur des arbres-échantillons sélectionnés selon des principes statistiques et extrapolation à l'aide de la statistique officielle sur l'arboriculture.
 3. a) Méthode spéciale de détermination de la récolte (pas de prévision)
Mesure du rendement par arbre, au demeurant comme sub.3.
4. Estimation intuitive du rendement par exploitation, dans des exploitations-échantillons sélectionnées selon des principes statistiques, et extrapolation d'après un calcul proportionnel: production de l'année écoulée/production de l'année en cours.

Aucun de ces procédés ne fait appel à des principes méthodologiques en ce qui concerne l'estimation de la charge de fruits sur l'objet lui-même, et tous présentent de ce fait - à cet égard tout au moins - un degré plus ou moins grand de subjectivité.

3. Méthodes propres à rendre objective l'estimation de la charge de fruits d'un arbre donné

Pour estimer la charge des orangers en Floride, STOUT (1962) utilise un cadre de comptage d'un mètre carré de surface. Il rapporte le résultat obtenu pour un échantillon à la surface externe de la couronne des arbres. Il détermine ainsi le nombre global des fruits par arbre et, se fondant sur le poids moyen des fruits, la charge en fruits globale.

Les savants hongrois FERDINAND et BACSKAY (1966) tentent de calculer le rendement d'un arbre en déterminant le pourcentage de son volume global de fructification qui est rempli de fruits. Le volume obtenu est rapporté au poids spécifique d'un mètre cube de fruits, celui-ci étant au préalable déterminé d'une manière générale pour chaque variété séparément. Les auteurs font état d'une bonne concordance de leurs estimations avec les mesures effectuées après la récolte. Ils n'indiquent malheureusement pas le temps nécessaire à l'estimation pour chaque arbre. La première démarche consiste à déterminer le volume global de chaque arbre. Il faut en soustraire la partie improductive de la couronne (externe chez les arbustes, interne chez les arbres plus âgés). Il s'agit ensuite d'estimer un degré d'ouverture relatif de la couronne, puis d'indiquer selon quel pourcentage chaque coupe effectuée par les trois plants de la couronne est remplie de fruits (par référence à l'espace total rempli par les fruits tels qu'ils seraient disposés dans une caisse). C'est alors seulement que la charge de fruits peut être calculée d'après le poids spécifique (par m³ de fruits).

Les auteurs soulignent que cette méthode ne peut être appliquée que par un personnel qualifié. Aussi peut-on se demander s'il ne serait quand même pas plus simple et plus sûr de déterminer le nombre de fruits de l'arbre par un comptage, et de calculer ensuite la charge totale d'après le nombre de fruits et leur poids moyen.

Il est étonnant que la méthode simple de comptage des fruits, soit de l'ensemble de l'arbre, soit, pour les gros arbres, d'une partie représentative de la couronne, ne soit pas plus largement utilisée pour

l'établissement des statistiques officielles des différents pays. Dans la pratique, l'auteur n'a vu effectuer des comptages de fruits que dans un certain nombre d'exploitations fruticoles. Dans le cas d'un dénombrement systématique branche par branche, les sources d'erreurs sont minimales. Ce n'est que dans les très gros arbres, comptant plus de 1.000 fruits, que des difficultés peuvent se présenter. Néanmoins, pour estimer valablement le rendement d'un arbre d'après le comptage des fruits, il faut disposer d'indices sérieux quant au poids moyen des fruits au moment de la récolte. Or, jusqu'ici, les informations disponibles à ce sujet étaient insuffisantes ou dispersées dans la littérature spécialisée. Une part essentielle du présent travail est consacrée à la détermination du poids moyen probable des fruits récoltés.

En ce qui concerne la définition de la capacité de production des arbres fruitiers d'après un certain nombre de critères objectifs, il y a intérêt à lire les travaux de D. et U. NEUMANN (1966, 1967). Se basant sur des critères mesurables - les critères de croissance afférents à la formation de la couronne - ces auteurs s'efforcent non seulement d'exprimer le mode de croissance propre à chaque variété par un certain nombre de paramètres, mais aussi de calculer la capacité de production. Jusqu'ici, ils n'ont toutefois pas utilisé leur méthode à des fins de prévision. Bien que le procédé soit trop compliqué à appliquer au plan régional, il contient sans conteste un certain nombre d'éléments susceptibles de servir de point de départ à une prévision de production détaillée d'arbres pris isolément.

Résumé et conclusions I.3

Parmi les tentatives visant à rendre objective l'estimation de la charge, il faut citer les procédés d'échantillonnage suivants:

1. Méthode de dénombrement par cadres d'après STOUT
2. Calcul du volume rempli de fruits, d'après FERDINAND et BACSKAY
3. Dénombrement global des fruits.

Les procédés connus jusqu'ici ne répondent qu'imparfaitement aux exigences auxquelles devrait se conformer une méthode valable de prévision de la production des fruits à pépins, à savoir:

1. Applicabilité universelle dans toutes les conditions imaginables de technique culturale et d'écologie.
2. Applicabilité égale pour la prévision potentielle et la prévision courante.
3. Résultats variété par variété.
4. Elimination poussée des éléments subjectifs et, par conséquent, reproductibilité.
5. Précision suffisante d'environ $\pm 10\%$ pour une limite de fiabilité de 95 %.
6. Vitesse élevée de recensement et de dépouillement des données dans le cas d'une prévision courante (10 jours).
7. Coût d'un ordre de grandeur identique à celui des procédés traditionnels.

C'est d'après ces principes que l'auteur a mis au point sa méthode laquelle sera décrite dans la deuxième partie du présent ouvrage.

II. Les "critères spécifiques de rendement, base du modèle"

I n t r o d u c t i o n

Toute prévision consiste à déterminer, d'après l'aspect et l'ordre de grandeur reconnaissables ou mesurables de certains critères connus au moment de la prévision, l'aspect et l'ordre de grandeur que ces mêmes critères, ou d'autres critères dérivés, sont susceptibles de manifester à l'échéance considérée. Le risque réside dans le caractère incertain des influences qui agiront sur l'objet de la prévision dans l'intervalle, ainsi que des réactions dudit objet à ces influences.

S'agissant de plants fruitiers, il convient tout d'abord de définir quantitativement une certaine situation de départ, par exemple le nombre et l'âge des arbres engagés dans le processus de croissance. C'est l'affaire de recensements statistiques des cultures. Conformément à certaines normes génétiques, ces effectifs d'arbres varieront avec le temps quant au nombre et à la grosseur des arbres qui auront été modifiés par l'influence d'éléments environnementaux naturels et artificiels (humains). Leur aptitude à porter des fruits, c'est-à-dire le potentiel-arbres, se modifiera en conséquence.

Indépendamment de cela, c'est-à-dire en fonction de réactions spécifiques des plantes à certaines influences environnementales, se détermine chaque année de nouveau la densité de charge en fruits qui sera atteinte par le potentiel-arbres considéré.

Enfin, ce sont encore des réactions spécifiques des plantes à l'environnement qui détermineront, au cours de la période de végétation, le poids qu'atteindront les fruits au moment de la récolte.

C'est dire que le rendement en fruits est la résultante de trois critères essentiels qui, s'ils ne sont pas sans s'influencer mutuellement, constituent des critères autonomes de production et sont donc spécifiques de celui-ci:

- le potentiel-arbres (K)
- la densité de charge moyenne (D_m)
- le poids moyen des fruits (G_m).

Comme nous le montrerons encore, la ventilation de la production en fruits selon ces trois critères autonomes est une condition essentielle pour la définition de modèles partiels quantifiables.

D'après HOUSEMAN et HUDDLESTON (1966), les prévisions de croissance utilisées aujourd'hui pour les plantes, et pour autant qu'elles reposent sur des modèles mathématiques, sont généralement fondées soit sur des corrélations soit sur des fonctions de croissance.

Un exemple de modèle de corrélation est celui utilisé par HANUS (1968) pour la prévision de la récolte de blé. Utilisant des séries d'observations portant sur plusieurs années, cet auteur a analysé les différents critères météorologiques ayant une relation significative avec les récoltes de blé. Dans ce modèle, la variabilité dans le temps des différentes influences est prise en considération grâce à une clé de répartition individuelle mensuelle. Une autre particularité est la renonciation volontaire à toute mesure ou à tout recensement de contrôle sur les plantes elles-mêmes, comme base complémentaire ou unique de prévision.

Il est certain qu'à génotype constant et à conditions de départ identiques, les fluctuations annuelles de la croissance et du rendement sont dues exclusivement à des influences environnementales diverses. Mais ne connaissant pas suffisamment la manière dont les plantes réagissent aux facteurs écologiques selon leurs conditions phénologiques et ne pouvant pas quantifier avec précision ces influences locales sur les plantes, nous ne pouvons pas, lorsque nous opérons avec des modèles de prévision qui doivent être aussi exacts que possible, nous passer des données intermédiaires fournies sur l'état de croissance atteint par les mesures effectuées sur les plantes elles-mêmes. BROUWER (1959) a particulièrement souligné la diversité avec laquelle les plantes réagissent aux influences de l'environnement en fonction de leur stade de développement. Des tentatives visant à préciser la relation existant entre les différents stades de croissance des plants fruitiers et leur réaction aux influences de l'environnement ont certes permis de définir un certain nombre de lois (PEICHL 1952, STENZ 19 2, ROEMER 1962). Celles-ci sont toutefois encore insuffisantes pour établir un modèle permettant de calculer directement le comportement végétatif et génératif des plantes d'après certains critères intéressant la dynamique même des influences environnementales. En raison de la complexité des relations existant entre les différents facteurs, le modèle présenté ici s'abstient encore de déterminer indirectement les états de croissance à partir de données météorologiques. En lieu et place, des mesures sont effectuées sur l'objet lui-même. Dans tous les modèles partiels, la transformation qui en résulte pour la prévision s'effectue à l'aide de déductions analogiques sur la base des données disponibles d'années antérieures.

D'autre part, les réactions des plantes au monde extérieur étant également complexes, le modèle appelé à caractériser cette situation devra tout d'abord se limiter, en une simplification sommaire, à la quantification d'un certain nombre de paramètres ayant une incidence essentielle sur le rendement. Quoi qu'il en soit, les ordinateurs nous permettent aujourd'hui de développer des modèles qu'il eût été impossible d'utiliser dans la pratique auparavant, en raison du nombre des opérations.

Il va de soi que pour la mise au point d'un tel modèle de prévision, le "système par blocs" s'impose presque de lui-même. Il permet, d'après un certain nombre de fonctions de base importantes, d'ébaucher tout d'abord un certain nombre de relations grossières puis, par un rapprochement de plus en plus étroit des fonctions utilisées avec la réalité et par l'introduction de fonctions partielles nouvelles, de serrer de plus près le comportement effectif des plantes.

Le modèle part du principe qu'il existe, selon la variété considérée ou, dans le cas de plants fruitiers, selon la combinaison de la greffe, une certaine disposition génétique qui, en présence d'un complexe donné d'influences environnementales, conduit à un certain rendement. Le calcul synthétique du comportement des plantes en matière de rendement d'après chacune des réactions génétiques de celles-ci à l'ensemble des influences physiologiques environnementales constitue encore dans l'immédiat un objectif éloigné. Si un tel objectif reste provisoirement utopique et peut même ne jamais être pleinement réalisé, c'est parce que, notamment, les effets des influences environnementales, loin d'être toujours cumulatifs, présentent souvent aussi un caractère d'interdépendance. Une solution à ce problème consisterait à déterminer d'abord empiriquement les réactions des plantes à des ensembles d'influences environnementales, par exemple sous certaines conditions écologiques approximativement homogènes, d'en déduire certaines normes de comportement, et d'utiliser celles-ci comme base de modèles de prévision. Les connaissances se développant, on pourrait passer pas à pas de considérations complexes et empiriques à des considérations de plus en plus analytiques qui tiendraient, en définitive, dûment compte des causes.

Le modèle dont il sera discuté dans les chapitres qui suivent ne peut constituer qu'un premier pas dans la direction ainsi esquissée. C'est

notamment le cas en ce qui concerne la quantité des données de base. L'application du modèle à de multiples cas différents suppose qu'on réunisse et qu'on exploite statistiquement certaines informations biologiques s'étendant sur plusieurs années, opération dont un seul individu ne saurait venir à bout.

Aussi convient-il de considérer comme résultat proprement dit du présent travail moins les coefficients, moyennes, etc., qui y sont déterminés et utilisés comme paramètres - même s'ils reflètent correctement les ordres de grandeur - que le modèle lui-même.

1. Définition des "critères spécifiques de rendement"

Le rendement (E) est le produit du nombre total de fruits (N_f) et du poids moyen des fruits (G_m).

$$E = N_f \cdot G_m$$

Le nombre des fruits est donné par le produit de deux facteurs:

- la densité selon laquelle les fruits pendent de l'arbre.

Ce critère sera appelé densité de charge (D).

- le nombre et la grosseur des arbres considérés, c'est-à-dire le potentiel-arbres (K).

$$N_f = K \cdot D$$

Le rendement total (ou production) s'établit donc d'après la formule:

$$E = K \cdot D \cdot G_m$$

Les facteurs K et D sont des variables indépendantes, étant donné que les arbres, qu'ils soient grands ou petits, nombreux ou pas, peuvent avoir une densité de charge importante ou faible, voire une charge nulle. Le poids des fruits, en revanche, est influencé par la densité de charge. La nature de cette relation fera l'objet d'éclaircissements détaillés.

Pour pouvoir être utilisés dans les calculs, les critères spécifiques de production (potentiel-arbres, charge en fruits moyenne et poids moyen des fruits) doivent être définis quantitativement. Le poids moyen des fruits se définit comme le quotient du rendement, divisé par le nombre des fruits.

$$G_m = \frac{E}{N_f} \quad \text{ou} \quad G_m = \frac{E}{K \cdot D}$$

Mais pour autant que l'auteur le sache, personne jusqu'ici n'a tenté de définir les deux critères: potentiel-arbres et densité de charge de manière telle que leur produit soit directement fonction du nombre total de fruits:

$$K \cdot D = f(N_f)$$

Aussi a-t-on commencé par se pencher tout particulièrement sur ce problème.

Lorsqu'on apprécie le rendement arboricole, on définit généralement les caractéristiques végétatives des arbres examinés. On se réfère (à cette fin) à différents critères outre certains facteurs tels que la hauteur de la couronne, le diamètre de la couronne, la croissance de la pousse, le périmètre du tronc, etc.

1. La section de base de la couronne permet de tirer des conclusions quant à la productivité de l'arbre, par référence à la surface de projection horizontale de celui-ci. Aussi le pourcentage de la somme des projections horizontales des couronnes par rapport à la superficie globale d'une plantation fruitière est-il parfois retenu comme critère de productivité (SPOOR 1966, GOEDEGEBURE 1965, KERSBERGEN 1964). Mais il ne peut y avoir de corrélation avec le potentiel de fructification, pour la simple raison qu'il n'est pas tenu compte de la hauteur de la couronne. En effet, il est évident qu'un arbre élevé possède un potentiel de fructification supérieur à celui d'un arbre bas de même diamètre. (En outre, les études effectuées par l'auteur ont relevé qu'il n'existe, même à hauteur de couronne constante, aucune corrélation linéaire avec le potentiel de fructification).
2. Le volume de la couronne (contenu de la couronne) d'arbres expérimentaux figure, il est vrai, souvent comme critère du rendement végétatif. Mais tous s'accordent à dire qu'il ne peut exister de relation de dépendance linéaire entre le potentiel de rendement et le volume de la couronne, car lorsque celui-ci s'accroît, la part du volume "stérile" à l'intérieur de la couronne augmente, le potentiel de rendement s'accroissant alors de manière dégressive (STÖRTZER 1966). Le résultat tend à demeurer le même selon qu'on calcule le volume de la couronne d'après

le contenu d'une demi-ellipsoïde de révolution (LIEBSTER 1964), selon la "formule en nids d'abeilles" ou de toute autre manière. Seule la partie effectivement productive du volume global pourrait présenter une correspondance linéaire avec le potentiel de fructification. FERDINAND et BACSKAY calculent cette partie en déduisant du volume global un noyau volumétrique improductif, qui est nul pour les arbustes mais qui s'accroît en proportion du développement du volume global.

$$V_p \text{ (volume productif) } = V - V_s \text{ (noyau volumétrique stérile)}$$

où V_s est fonction de l'âge pour une variété et une forme d'arbre donnée. Si la fraction productive du volume reste limitée à l'enveloppe extérieure du volume global, on est amené à examiner s'il n'existe pas alors également une corrélation entre le potentiel de fructification et la surface extérieure de la couronne. C'est dans ce sens que vont notamment les recherches de STOUT qui - pour les oranges, il est vrai - arrive à la conclusion que la zone de fructification est essentiellement limitée à l'enveloppe extérieure de la couronne.

Vue de près, la surface extérieure d'un arbre à couronne ronde se présente à l'observateur sous la forme d'un cône tronqué. Si l'on se réfère à un diamètre moyen de la couronne, on peut même parler d'une enveloppe cylindrique. La partie de la surface tournée vers le haut ne serait visible que d'une position aérienne et n'est donc pas prise en considération.

La surface extérieure visible de la couronne aurait dans ces conditions pour grandeur $\pi \cdot d \cdot h$, où d et h représentent dans chaque cas les valeurs moyennes et non les valeurs maximales des dimensions de la couronne. Si cet arbre possédait N fruits qui seraient tous répartis régulièrement le long de sa surface extérieure et seraient donc tous visibles de l'extérieur, on aurait un nombre de fruits visibles $\frac{N}{d \cdot h}$ sur une surface de $\pi \text{ m}^2$ et de $\frac{N}{10d \cdot h}$ sur une surface de $\frac{\pi}{10} \text{ m}^2$. Inversement, on obtient N en multipliant le nombre de fruits visibles sur la section $\frac{\pi}{10}$ par $10 \cdot d \cdot h$:

$$N = n \left(\frac{\pi}{10} \right) \cdot 10 \cdot d \cdot h$$

Dans les conditions admises, on pourrait appeler le nombre de fruits visibles dans la section $\frac{\pi}{10}$ la "densité de charge" et le produit

$10 \cdot d \cdot h$ le "potentiel-arbres". Mais l'application de ce principe se heurte encore provisoirement aux obstacles suivants:

1. Vue de près, la couronne présente une surface extérieure régulière plus ou moins compartimentée.
2. Tous les fruits ne se trouvent pas sur la surface extérieure et ne sont donc pas tous visibles de l'extérieur.
3. La charge en fruits n'est généralement pas répartie régulièrement sur la surface extérieure de la couronne.

On peut éliminer la première difficulté en observant la couronne non pas à proximité immédiate mais à une distance de plusieurs mètres (fig. 3). La section observée de $\frac{1}{10} \pi \text{ m}^2$ apparaît alors pratiquement plane.

On a étudié ensuite dans quelle mesure la portion de fruits visible variait d'un arbre à l'autre. Aussi surprenant que cela soit, cette portion se situe toujours assez près de 87 % et ce, comme nous le montrerons encore, presque indépendamment de la taille, de la forme et de la variété de l'arbre. Dans ces conditions, on a

$$0,87 N = n \left(\frac{\pi}{10} \right) \cdot 10 d \cdot h$$

soit

$$N = n \left(\frac{\pi}{10} \right) \cdot \frac{1}{0,87} \cdot 10 d \cdot h$$

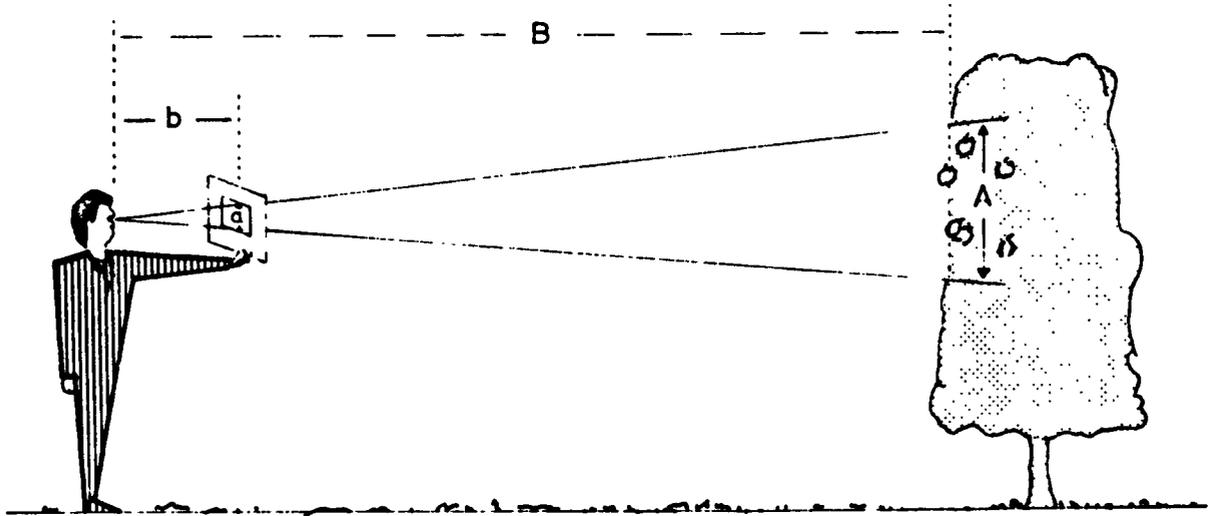
Au lieu de multiplier pour chaque calcul de $\frac{\pi}{10}$ par $\frac{1}{0,87}$ ($= 1,14$), on peut aussi prendre une fois pour toutes le $\frac{1}{0,87}$ de la surface de comptage $\frac{\pi}{10}$, ce qui donne

$$N = n_R \cdot 10 \cdot d \cdot h$$

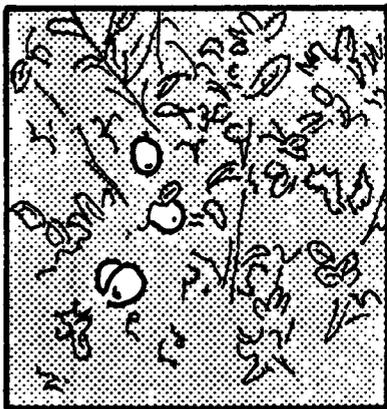
$$R = \frac{\pi}{10 \cdot 0,87} = \text{surface du cadre}$$

R étant égal à 0,36, on peut aussi écrire

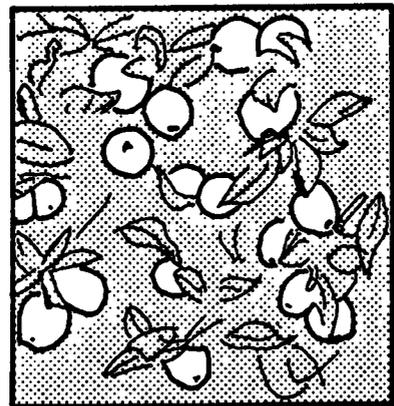
$$N = n_{(0,36 \text{ m}^2)} \cdot 10 \cdot d \cdot h.$$



SCHEMA DE LA DETERMINATION DE LA DENSITE DE CHARGE



DENSITE DE CHARGE 4



DENSITE DE CHARGE 18

En clair, cela signifie que le nombre de fruits visibles à quelques mètres de distance de la périphérie de la couronne dans une surface de comptage de $0,36 \text{ m}^2$, multiplié par 10 ainsi que par le diamètre moyen de la couronne et la hauteur moyenne de la couronne, devrait donner approximativement le nombre global de fruits de l'arbre, à condition que la charge de fruits soit absolument régulière. Comme tel n'est pratiquement jamais le cas, il y a lieu de prélever un échantillon, dont la valeur moyenne devrait conduire au résultat recherché:

On a alors:
$$N = \frac{\sum n(R)}{i} \cdot d \cdot h$$

Pour pouvoir appliquer cette méthode dans la pratique, il fallait encore trouver la meilleure façon de déterminer la surface de comptage sur la surface extérieure de la couronne, qui, rappelons le, est irrégulière.

Il a paru opportun d'utiliser à cette fin un petit cadre de carton ou de matière plastique présentant un découpage d'une certaine grandeur par lequel on pouvait, à partir d'une distance bien définie, "viser" le site de comptage à la périphérie de la couronne. Chez la plupart des gens, la distance entre l'oeil et l'extrémité du bras tendu est d'environ 60 cm. Pour des arbres d'assez grande taille relativement écartés les uns des autres, on a utilisé avec succès un cadre percé d'une fenêtre de $6 \times 6 \text{ cm}$, la distance entre l'oeil et la surface de comptage devant être de 6 m pour une longueur de bras de 60 cm. De cette manière, même les parties supérieures de la couronne peuvent être commodément observées. Dans les plantations denses, le choix de la distance appropriée se heurte à certaines difficultés. Il est préférable dans de tels cas de pourvoir le cadre d'une deuxième fenêtre de $12 \times 12 \text{ cm}$ de côté. La distance à respecter par rapport à la couronne est alors de 3 m (voir figure 3). Lorsque la distance entre l'oeil et le cadre est de 60 cm, on obtient d'une manière générale:

distance requise entre l'observateur et la périphérie de la couronne
(en mètres) = $\frac{36}{L}$

(L = côté de la fenêtre carrée en cm)

Rigoureusement parlant, cependant, ce procédé ne répond pas aux exigences théoriques selon lesquelles il faudrait découper dans chaque cas un espace de comptage représentant un certain secteur de la couronne.

Or, lorsqu'on vise par la fenêtre, on découvre un secteur qui présente les dimensions voulues à la périphérie de la couronne mais qui apparaît non en deux mais en trois dimensions, et s'étend à l'intérieur de la couronne. Toutefois, la délimitation correcte des secteurs exigerait un travail supplémentaire considérable. Eu égard aux résultats obtenus, il semble qu'on puisse s'accommoder de cette imprécision.

Les dimensions de la couronne (diamètre moyen, hauteur moyenne) peuvent elles aussi se calculer d'après le théorème des faisceaux, à l'aide d'un mètre ruban métallique, mais en l'espèce, la distance de mesure doit se rapporter au milieu de la couronne et non pas à sa périphérie. Pour les grands arbres, la mesure ne peut être effectuée à 6 mais à 12 ou à 18 m de distance. FORD (1960) décrit un appareil spécialement mis au point pour de telles mesures. Toutefois, celui-ci semble ici superflu. Certains croquis d'arbres de différentes classes, dessinés à l'échelle d'après des photographies, sont représentés à la figure 4.

La formule trouvée pour calculer le nombre global de fruits d'un arbre contient les définitions recherchées de la densité de charge et du potentiel-arbres.

Nous qualifions de densité de charge en fruits (D) le nombre de fruits (valeur moyenne d'un échantillon) qu'il est possible de voir sur une surface de comptage de 0,36 m², jusqu'au milieu de la couronne, à quelques mètres de distance de la périphérie de celle-ci.

Le potentiel de l'arbre représenterait en conséquence le produit du diamètre moyen et de la hauteur moyenne, ou plus exactement la surface moyenne de la projection verticale de la couronne (figure 4). On voit qu'ici la surface extérieure de la couronne est remplacée par la projection verticale de la couronne étant donné que π , dans la formule $\frac{\pi}{0,87 \cdot 10}$ se situe dans la surface de comptage. Toutefois, pour réserver la notion de potentiel-arbres à de plus grandes unités de calcul (1 ha, régions de culture entières), il est préférable, dans le cas d'un arbre individuel, de faire état de classe d'arbre (k):

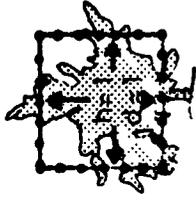
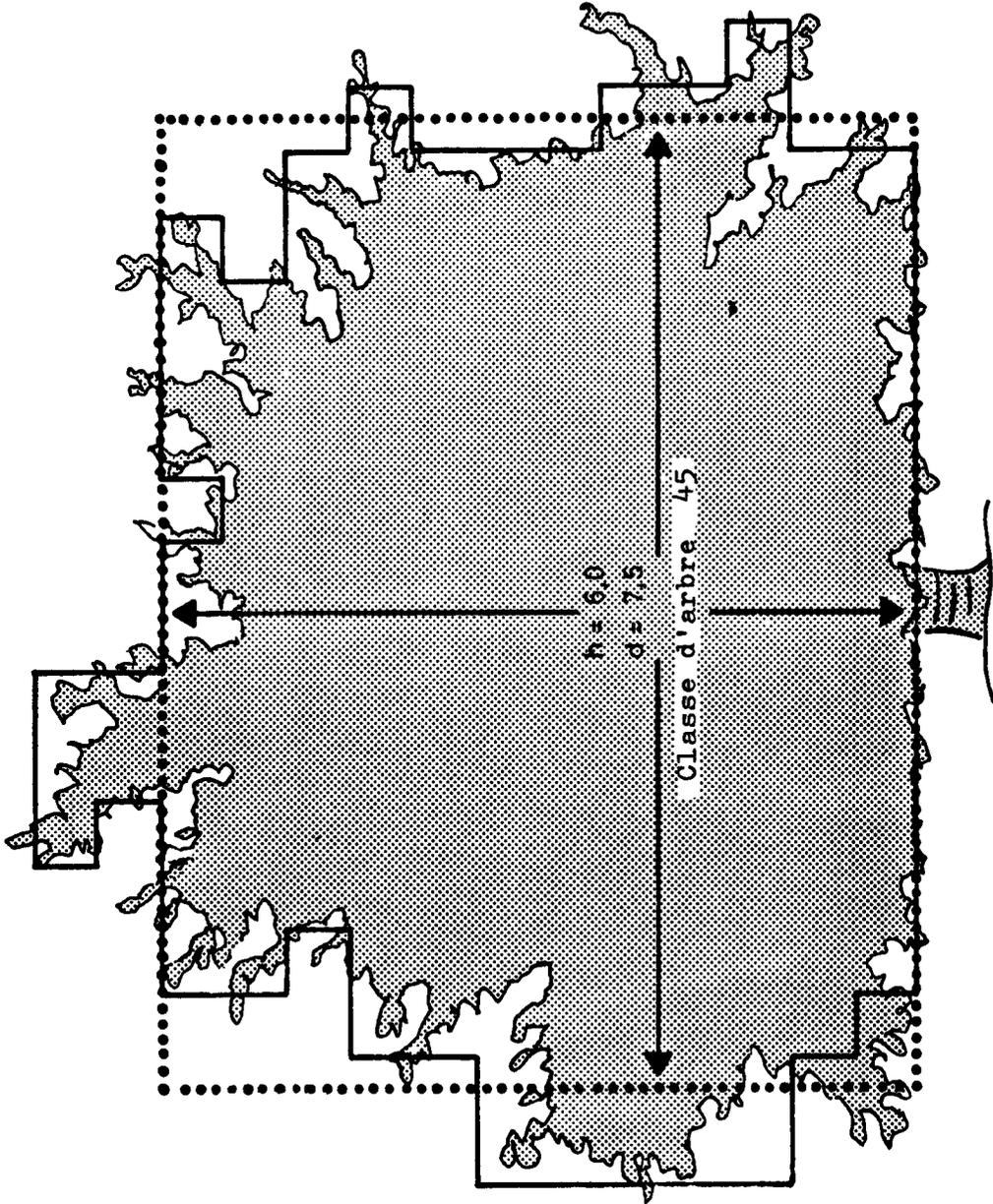
$$k = d_m \cdot h_m$$

Pour ne pas avoir à calculer avec des chiffres trop élevés, la notion globale K doit comporter 1.000 classes d'arbres:

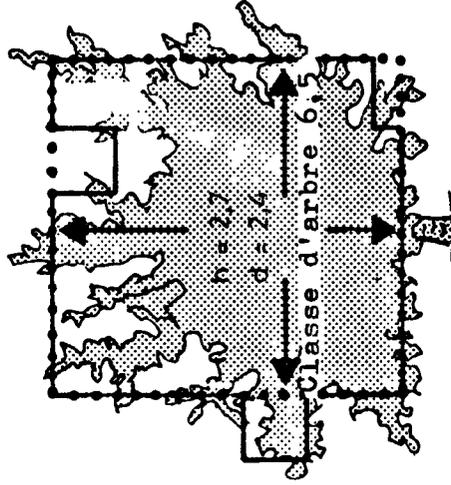
$$K = 1\ 000 \cdot k$$

EXEMPLE DE DEFINITION DES CLASSES D'ARBRE

4



Classe d'arbre 1



On a alors p.ex. pour une région de culture

$$K = \frac{\sum^m d \cdot h}{1.000}$$

Selon ce principe, nous définissons la classe d'arbre (k) comme la surface de la projection verticale moyenne de la couronne d'un arbre. Généralement, celle-ci se calcule avec suffisamment d'exactitude en multipliant le diamètre moyen par la hauteur moyenne de la couronne.

A signaler toutefois que la définition exacte de la classe d'arbre présente parfois des difficultés dans le cas de couronnes irrégulièrement formées, et exige un certain entraînement.

Mille unités de classe d'arbre donnent une unité de potentiel-arbres (K), (= 1.000 m² de projection verticale de la couronne).

La densité de charge moyenne (D_m) multipliée par la classe d'arbre (k) et la constante 10 donne directement le nombre global de fruits (N):

$$N = 10 D \cdot K$$

L'exactitude de ce procédé a été éprouvée par de nombreuses comparaisons entre le nombre de fruits estimé et dénombré, tant pour des arbres de tailles (classe d'arbres 1 - 50) et de formes de couronnes les plus diverses que pour les différentes variétés commerciales de pommes. Les résultats sont réunis au tableau 1.

Les résultats considérés ont été obtenus au cours de la période phénologique séparant les moments où les diamètres moyens des fruits atteignent environ de 35 à 50 mm. Une estimation plus précoce est inutile car non seulement la chute physiologique des fruits (au mois de juin) n'est pas encore terminée, mais de plus les fruits ne peuvent pas encore être correctement discernés à la distance requise. D'autre part, peu de temps avant la récolte, le résultat devient à nouveau incertain, car les branches surchargées se courbent les unes sur les autres et se penchent jusqu'au sol provoquant une répartition statique défavorable de la charge dans l'espace.

Les données ont été étudiées sous différents points de vue. Dans les trois premières colonnes figurent les demi-amplitudes relatives (en \pm %)

Tableau 1

Comparaisons entre les estimations et les comptages du nombre de fruits pour 203 arbres (données exploitées en fonction de différentes considérations).

Données de base	Amplitudes relatives (±) pour des intervalles de confiance de			Coeff. de variation	Ecart relatif moyen	Erreur type relative	Nombre des valeurs
	95 %	90 %	80 %				
1. Ensemble des données	23,9	20,0	15,6	12,2	- 1,7	0,9	203
2. réparties d'après les densités de charge							
0.1 - 4.0	29,6	24,7	19,3	15,1	+ 1,8	2,8	29
4.1 - 7.0	31,4	26,3	20,5	16,1	0,0	2,3	47
7.1 - 9.9	21,0	17,6	13,7	10,8	- 2,4	1,5	49
9.9 -18.0	16,7	14,0	10,9	8,6	- 3,7	1,0	78
3. réparties d'après les classes d'arbres							
0.1 - 3.9	21,4	17,9	14,0	10,9	- 2,9	1,4	62
4.0 - 9.9	24,7	20,7	16,1	12,6	- 1,9	1,4	98
9.9 -50.0	25,7	21,5	16,7	13,1	0,3	2,0	43
4. réparties d'après les variétés							
Jonathan	9,5	7,9	6,2	4,9	- 3,8	1,1	18
Reine des reinettes	12,7	10,6	8,3	6,5	- 2,9	1,8	13
Gravensteiner	18,9	15,8	12,3	9,7	0,0	2,3	17
James Grieve	23,6	19,7	15,4	12,1	- 2,7	3,6	11
Golden Delicious	23,8	19,9	15,5	12,2	- 1,4	1,3	93
Cox's Orange	26,5	22,2	17,3	13,6	- 5,8	2,8	24
Belle de Boskoop	31,7	26,5	20,7	16,2	0,5	3,9	17
5. réparties d'après les formes d'arbres							
couronnes en forme de pyramide et de gobelet	22,3	18,7	14,6	11,4	- 0,7	1,0	124
arbustes en fuseau	29,5	24,7	19,3	15,1	- 4,5	2,0	56
espaliers à couronnes étroites (palmettes et autres)	10,1	8,4	6,6	5,2	- 2,0	1,6	11
autres espaliers	16,7	14,0	10,9	8,6	- 3,2	2,6	11

des intervalles de confiance de 95, 90 et 80 % résultant des observations disponibles, écarts représentant la différence entre la valeur de comptage et la valeur estimative de la charge de l'arbre (la distribution de base de cette différence est supposé être une distribution normale).

De la deuxième à la cinquième ligne, les données sont subdivisées en quatre classes de densité de charge. Il apparaît clairement ici que les coefficients de variation des résultats estimatifs diminuent au fur et à mesure que les densités de charge augmentent. Parallèlement, l'écart relatif moyen passe de + 1,8 à - 3,7 avec l'augmentation des densités de charge.

Les conclusions à tirer sont les suivantes :

1. Le résultat estimatif est relativement d'autant plus sûr que la densité de charge est plus élevée.

La raison en est double :

- a) Lorsqu'il y a peu de fruits au total, une erreur absolue de quelques fruits entraîne une erreur relative considérable et vice versa.
- b) Lorsque la densité de charge est faible, la charge en fruits est généralement répartie irrégulièrement sur l'arbre. Une forte densité de charge, en revanche, suppose une répartition plus ou moins régulière des fruits sur l'ensemble de l'arbre. C'est dire que même l'échantillonnage de la densité de charge donnera de meilleurs résultats dans le cas d'une charge plus élevée.

2. On a tendance à surestimer la charge en fruits lorsque la densité de charge est faible et à la sous-estimer en cas de forte densité.

Cela est dû au fait que lorsque la charge en fruits est dense au point de former souvent de véritables grappes, une partie des fruits se recouvrent mutuellement. L'erreur qui en résulte serait plus importante si elle n'était pratiquement compensée par une tendance contraire :

Lorsque la charge en fruits augmente, le feuillage des arbres s'éclaircit et la couronne devient plus transparente.

La ventilation des données en classes d'arbres (3) ne fait guère apparaître de tendances déterminées. Un fait surprenant est qu'on ne relève aucune tendance à la sous-estimation de la charge des gros arbres, mais plutôt l'inverse. Il est ainsi prouvé indirectement que l'intérieur de la couronne des arbres pourvus d'une couronne importante ne présente effectivement aucune charge appréciable, à moins que la couronne ne soit éclaircie par des tailles qui rendent alors les fruits du milieu de l'arbre visibles également de l'extérieur.

La quatrième partie du tableau contient une subdivision par variétés. Le nombre des valeurs est néanmoins en partie insuffisant. Les variétés sont classées par ordre de dispersion croissant des valeurs estimatives.

Il n'est guère surprenant que la variété Jonathan se distingue par des écarts particulièrement faibles. Elle se caractérise en effet par une phyllotaxie relativement clairsemée et une charge en fruits qui, même lorsqu'elle est faible, est assez régulièrement répartie sur la couronne.

Inversement, la variété Belle de Boskoop présente un feuillage très exubérant et une charge en fruits souvent inégale. Quant à l'avant-dernière variété, Cox Orange, elle se caractérise par une charge souvent irrégulière, en forme de grappes.

La dernière partie du tableau contient une répartition par formes d'arbres. En matière de formes, un cas particulier est constitué par les espaliers (palmettes, espaliers en fuseaux) à couronnes étroites, qui revêtent une importance économique considérable dans certaines régions. On ne peut présumer à priori que la méthode envisagée fournisse ici aussi des résultats corrects. Pourtant les dénombrements effectués ont montré qu'elle peut aussi être appliquée ici sans modification, à condition qu'on présume comme diamètre, comme il est prescrit en général, le diamètre moyen, c'est-à-dire la moyenne entre le diamètre longitudinal et le diamètre transversal. On constate alors ce phénomène, bien connu dans la pratique, que les arbres à couronne étroite sont, comparativement à la surface nette de terrain qu'ils occupent, plus productifs que les arbres à couronne ronde. Chez ces derniers, le rapport entre la surface extérieure de la couronne et le volume est réduit. Il est d'autant plus grand que la couronne est plus étroite.

Un arbre à couronne ronde dont la couronne mesure 2,5 m de diamètre exige $1,25^2 \cdot \pi = 4,9 \text{ m}^2$ de surface du sol. Un espalier de 4,5 m de long et 0,5 m de large présente lui aussi un diamètre moyen de 2,5 m, car $\frac{4,5 + 0,5}{2} = 2,5$. Mais il ne nécessite qu'environ $4,5 \cdot 0,5 = 2,25 \text{ m}^2$ de surface du sol. Dans le cas des arbres à couronnes étroites, une formule établie par référence à la surface extérieure de la couronne tient automatiquement compte de la productivité plus élevée par rapport au volume. Mais il ne faut pas oublier que c'est précisément pour les arbres à couronnes étroites qu'il faut veiller, en déterminant la densité de charge, à ne compter que les fruits visibles dans la moitié antérieure de la couronne.

On ne dispose certes pour les arbres à couronnes étroites que de onze comparaisons entre estimations et comptages, comparaisons qui concernent essentiellement les palmettes de la province de Bolzano; mais la concordance est encore meilleure dans ce cas que pour les autres formes de couronnes. L'écart relatif moyen de + 2,0 est l'indice d'une faible tendance à la surestimation, comme il faut d'ailleurs s'y attendre.

La figure 5 offre une représentation graphique des données expérimentales. La droite de régression s'écarte à peine de la sécante idéale de 45°. C'est dans la gamme la plus fréquente entre 200 et 1.500 fruits que la concordance est la meilleure. Les arbres portant plus de 2.000 fruits sont rares.

Etant donné la bonne concordance entre les résultats de comptages et les chiffres estimatifs moyens, et compte tenu du fait que l'écart systématique est minime dans tous les cas, on a renoncé jusqu'ici à tous facteurs de correction. Mais cela n'exclut pas que de tels facteurs puissent s'avérer nécessaires en présence de données expérimentales couvrant un large champ, pour tenir compte de la forme des arbres, de leur taille, de la densité de charge, ou de la variété. L'introduction de ces facteurs ne poserait aucune difficulté du point de vue méthodologique.

Rien ne s'oppose, semble-t-il, à ce qu'on utilise la méthode ainsi décrite pour des estimations et des prévisions de récolte reposant sur ces trois critères spécifiques du rendement, à présent définis mathématiquement, à savoir le potentiel-arbres (K), la densité de charge en fruits (D) et le poids moyen des fruits (G_m).

La possibilité de déterminer objectivement la densité de charge moyenne de cette manière relativement simple pourrait aussi s'avérer intéressante pour la définition et le contrôle du degré d'éclaircissement, tant en ce qui concerne les éclaircissements expérimentaux que les éclaircissements de routine, car ni l'unité "volume de la couronne" (m^3) ni l'unité de longueur de pousse n'ont pu jusqu'ici donner entière satisfaction comme grandeurs de référence. Le rapport "surface des feuilles/fruits" constitue sans aucun doute un étalon plus exact mais les dépenses qu'entraîne sa détermination ne se justifient qu'exceptionnellement.

Résumé II,1

Le rendement fruits est le produit du nombre global de fruits par le poids moyen des fruits.

Le nombre des fruits s'obtient à partir de la densité de charge et du nombre et de la taille des arbres, c'est-à-dire le "potentiel-arbres".

La part de fruits visible de l'extérieur d'une couronne étant dans une grande mesure constante (environ 87 %), indépendamment de la taille et de la forme de l'arbre ainsi que de la variété, il existe une corrélation linéaire entre la surface extérieure visible de la couronne ou la surface de la projection verticale de la couronne, et la densité de charge en fruits.

Comme on peut le déduire mathématiquement, le nombre de fruits d'un arbre (ou d'un ensemble d'arbres) résulte directement du produit de la densité de charge par la classe d'arbre, étant entendu que la densité de charge représente le nombre de fruits moyen visibles à la périphérie de la couronne sur une surface de comptage de $0,36 m^2$, et la classe d'arbre la superficie de la projection verticale de la couronne en m^2 , multipliée par la constante 10.

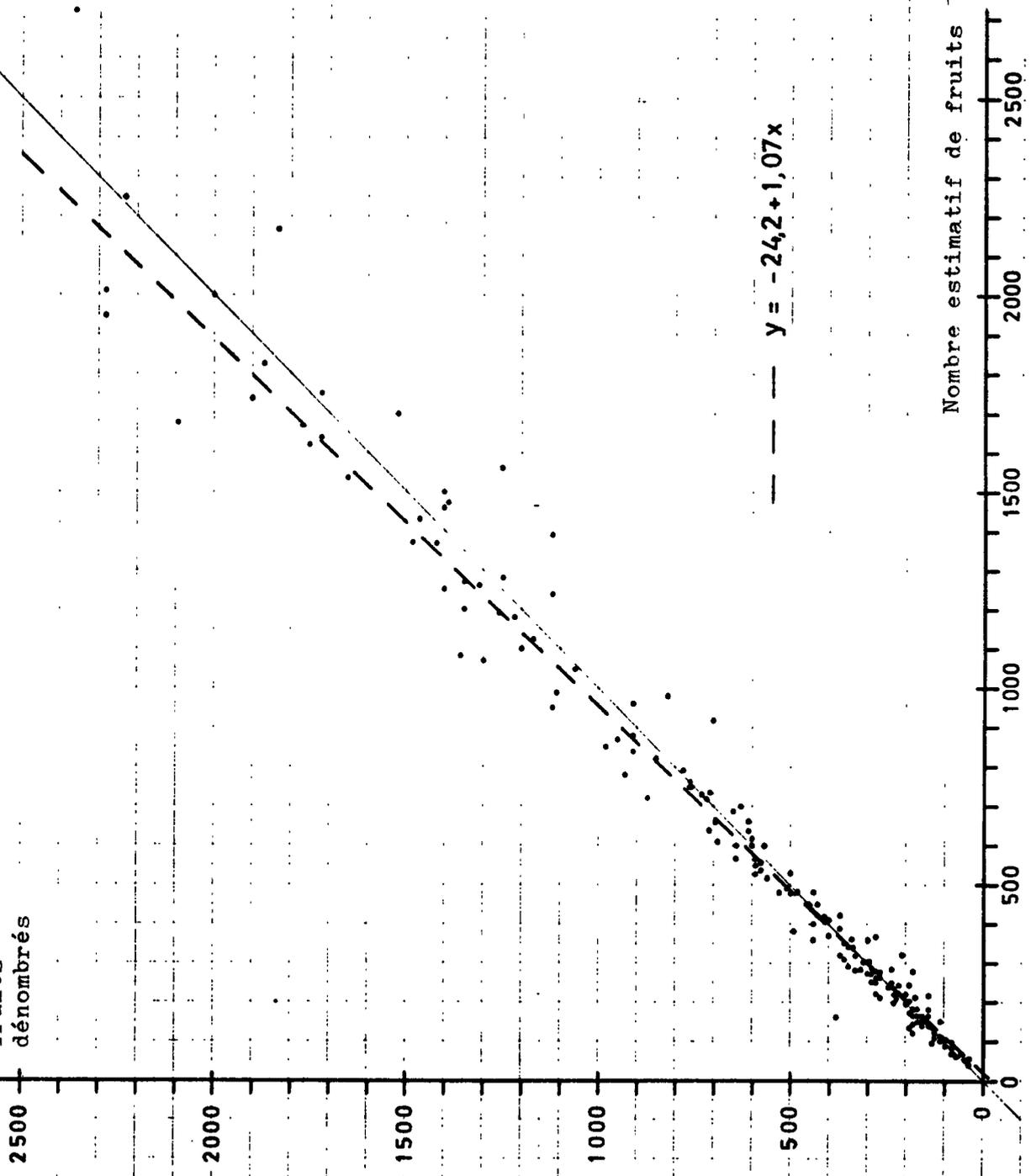
La classe d'arbre (k) se définit comme la surface de la projection verticale de la couronne en m^2 , le potentiel-arbres (K) constituant l'unité supérieure équivalant à $1.000 m^2$ de surface de projection verticale des couronnes.

Les trois composantes du rendement à savoir le potentiel-arbres (classe), la densité de charge et le poids moyen des fruits se définissent comme les "critères spécifiques du rendement". Elles sont étudiées plus en détail dans les chapitres suivants.

⑤

Comparaison entre les résultats d'estimations et de comptages relatifs au nombre de fruits par arbre

fruits
dénombrés



— — — $y = -24,2 + 1,07x$

Nombre estimatif de fruits

2. Caractérisation de certains processus de croissance par des fonctions de croissance

L'établissement de modèles de calcul pouvant servir à l'analyse et à la prévision de la production suppose qu'on définisse mathématiquement les différents critères de croissance. Les variations de certains paramètres de croissance en fonction du temps prennent dans le cas présent une importance particulière. Lorsque les critères à étudier constituent des processus cumulatifs, comme par exemple la croissance de la couronne ou la croissance des fruits, il est préférable de définir l'ensemble du processus sous la forme d'une fonction des corrélations établies entre les différents paramètres de l'axe du temps et les valeurs de croissance correspondantes.

Les processus de croissance biologiques suivent fréquemment une courbe sinusoïdale dont la pente, les points d'inflexion et le maximum varient. Outre BACKMAN, PETERSON et ROBERTSON (cité par PRODAN (1961)) c'est surtout MITSCHERLICH (1956) qui a étudié les fonctions de croissance. Quant à BOGUSLAWSKI et SCHNEIDER, ils ont non seulement vérifié la fonction de MITSCHERLICH à l'aide de nombreux exemples, mais ils l'ont également perfectionnée. Comme ceux de MITSCHERLICH, leurs travaux portaient essentiellement sur l'influence qu'exerce une administration croissante d'éléments nutritifs sur le rendement (BOGUSLAWSKI et SCHNEIDER 1963). Mais les mêmes fonctions ont pu aussi être parfaitement adaptées à l'étude des variations de croissance en fonction du temps (PRODAN 1961), (BELLMANN, MEINDJ, RAEUBER, PFEFFER et WINKEL 1967), comme c'est notamment le cas dans le présent modèle. Certains auteurs (BAULE 1953, DÖRFEL 1964, ATANASIU et SCHNEIDER 1967) ont tenté de définir par des rapports de causalité les paramètres de fonction, mais n'ont pas pu, jusqu'ici, obtenir des résultats parfaitement convaincants. Nous renonçons sciemment à nous approfondir sur ce point dans le présent modèle. Les fonctions de croissance servent ici exclusivement à traduire en grandeurs mathématiques, donc calculables, certains processus de croissance constatés empiriquement. Sont utilisées à cette fin les fonctions suivantes:

1. $y = A \cdot (1 - e^{-cx})^n$

(d'après MITSCHERLICH)

y = valeur de croissance

x = temps

A, c et n = constantes

$$2. \quad y = M \cdot e^{-c \left| \ln \frac{x}{x_M} \right|^n}$$

(d'après BOGUSLAWSKI et SCHNEIDER)

y = valeur de croissance

x = temps

M = maximum

x_M = moment auquel le maximum est atteint

c et n = constantes

Certaines difficultés se posent en ce qui concerne l'adaptation de ces fonctions, laquelle ne peut être effectuée purement et simplement par la méthode des plus petits carrés (SCHNEIDER 1963). En utilisant un programme d'itération permettant, par approximation de c et n et par détermination de chaque valeur de A ou M d'après la méthode des plus petits carrés, de donner au degré de déterminabilité (r^2) sa valeur maximale, l'auteur a pu résoudre ce problème à l'aide d'un ordinateur et est capable de réaliser chaque adaptation en quelques minutes (cf. exemples fig. 6, 19, 20).

Résumé II,2

Pour caractériser certains processus de croissance cumulatifs, nous utilisons dans le modèle des fonctions de MITSCHERLICH ainsi que de BOGUSLAWSKI et SCHNEIDER. Avec un ordinateur, l'adaptation peut facilement être résolue par un procédé d'itération. L'interprétation causale des paramètres utilisés est sciemment omise en raison des problèmes qu'elle pose.

3. Potentiel-arbres

3.1 Exposé du problème

Les modifications du potentiel-arbres sont des processus à long terme. Les influences temporaires qui favorisent ou inhibent la croissance, dans le cadre des fluctuations habituelles des conditions météorologiques ou d'exploitation, n'ont qu'un effet secondaire sur le potentiel-arbres global d'une exploitation ou d'une région, ce potentiel étant toujours le résultat cumulatif de l'ensemble des influences qui se sont manifestées. Seuls les arbustes pourraient, dans leur brève existence, être soumis à certaines influences unilatéralement anormales, mais ils

n'influent généralement guère sur le rendement global. Seules certaines conditions particulières extrêmes, pratiquement imprévisibles, mais pouvant toutefois provoquer des dommages ou même des pertes, pourraient modifier imprévisiblement l'allure normale de la croissance dans des régions entières. Abstraction faite de ces cas particuliers, la croissance végétative des arbres devrait pouvoir être prévue d'une manière relativement exacte, indépendamment des influences climatiques particulières, à condition d'être suffisamment définies sur la base de données représentatives.

Bien que la croissance annuelle s'effectue dans le courant de la période de végétation, on peut toutefois considérer le potentiel-arbres comme constant pour une année donnée à condition d'exclure des mesures la croissance de pousse de l'année considérée, qu'il est aisé de distinguer. Cette méthode se justifie par le fait que ce supplément de bois de l'année ne peut porter des fruits et n'influe donc pas directement sur la récolte. Il en résulte corollairement que le potentiel-arbres peut être apprécié comme grandeur statique lors de chaque prévision courante (annuelle). Les écarts du rendement annuel par rapport à la norme ne sont pas dus en effet au critère "potentiel-arbres" mais aux fluctuations de la densité de charge et du poids des fruits. Par ailleurs, toutefois, ce sont précisément l'augmentation ou la réduction du "potentiel-arbres" qui modifient la tendance à long terme de la production. Aussi est-ce ce paramètre qui constitue la variable par excellence de la prévision potentielle.

Un arbre en plein vent planté comme arbuste, un à deux ans après greffage en pépinière, dans son site de croissance définitif, correspond d'après sa section à une classe d'arbre très basse (projection verticale de la couronne), généralement inférieure à 0,2 mais en tout cas supérieure à 0. D'année en année, cette classe augmentera et tendra à une valeur maximale. Tôt ou tard, certains phénomènes de dépérissement amorceront la phase régressive de l'évolution de la couronne et finiront par entraîner la mort de l'arbre, ramenant la classe de celui-ci à 0.

Cette phase régressive peut commencer à des moments très différents selon les conditions environnementales. Mais on ne dispose guère de

données à ce sujet car, généralement, les plantations fruitières sont arrachées pour d'autres raisons, essentiellement économiques, avant le début de cette phase. Aussi celle-ci a-t-elle peu de signification pratique et convient-il de renoncer provisoirement à la définir.

En revanche, la phase progressive et le sommet de la courbe de croissance constituent des éléments capitaux en matière d'évolution du rendement. Il faut noter cependant les considérations suivantes:

1. Le processus de croissance variera selon les dispositions génétiques des sujets et les influences environnementales.
2. Une évolution biologiquement non perturbée suppose notamment que la croissance ne soit entravée artificiellement ni par la densité des plantations ni par certaines interventions limitatives (opérations de taille).

Il s'ensuit:

- ad 1. : qu'il faut dépouiller les données en tenant compte séparément des critères génétiques et écologiques;
- ad 2. : qu'une fonction de croissance "naturelle" ne peut être basée que sur des données relatives à des arbres dont la croissance n'est pas entravée "artificiellement".

On ne doit nullement ignorer le problème que pose la prise en considération de ces aspects de la "limitation artificielle de la croissance". Mais il est préférable de les examiner hors du contexte de la "fonction de croissance naturelle", comme nous le ferons dans une prochaine section.

3.2 Fonctions naturelles de la croissance de la couronne

La déduction empirique des fonctions de croissance suppose qu'on dispose des données requises différenciées selon les critères mêmes qui permettent d'escompter des disparités significatives.

Il va de soi que les quelque 500 mesures de classes (k) de sujets individuels, effectuées par l'auteur, ne peuvent fournir en qu'un certain nombre de points de repère. Les données n'ont pu être subdivisées jusqu'ici que d'après les principaux critères génétiques et écologiques, pour éviter une dispersion trop poussée.

Ont été distinguées les influences exercées sur la croissance par :

1. les taux de croissance des porte-greffes (3 classes de croissance)
2. les taux de croissance des greffons (4 classes de croissance)
3. certains complexes d'influence écologiques.

Compte tenu des influences complexes et fluctuantes des facteurs externes, il est extrêmement malaisé de définir qualitativement certaines corrélations. Aussi se contentera-t-on provisoirement, par mesure de simplification, de rechercher dans chaque cas le coefficient permettant de quantifier dans leur complexité les conditions régionales moyennes de croissance végétative. Un traitement différencié de ce problème dépasserait le cadre du présent travail. Néanmoins, c'est précisément sur ce point que devraient porter les efforts si l'on voulait perfectionner la méthode et l'appliquer à certains projets particuliers. Sans devoir modifier le reste des opérations, on pourrait introduire des fonctions plus compliquées dans le modèle, en lieu et place d'un coefficient complexe. Cela suppose non seulement qu'on ait une connaissance de principe de telles fonctions, mais aussi qu'on définisse non seulement qualitativement mais aussi quantitativement les influences environnementales pour le cas d'application considérée.

Par analogie avec les "complexes écologiques" tels qu'ils sont délimités par le relevé cartographique des exploitations fruitières (SCHREIBER, WELLER, WINTER, SILBEREISEN 1959), il s'agit de définir à cette fin des unités géographiques caractérisées par des combinaisons particulières d'influences externes, tant naturelles que touchant à la technique culturale. Aussi longtemps que de telles

distinctions ne pourront être que faiblement différenciées, il faut s'attendre à des variances considérables des échantillons, car les objets réunis en unités ne constituent pas de véritables populations au sens statistique du terme, mais bien des mélanges inégaux de plusieurs populations. Nous proposons de qualifier ces unités écologiques et culturelles d'"aires de culture écologiques".

Il s'agit de régions délimitées géographiquement (remarque: elles représentent dans chaque cas une région, mais parfois aussi plusieurs régions, séparées dans l'espace mais comparables), caractérisées par une mosaïque spécifique de conditions écologiques, de traditions culturelles et d'intensités d'exploitation, différente de celle des autres unités.

Au sens de cette définition, la délimitation des aires de culture écologiques peut être fondée à la fois sur les influences climatiques, les disparités régionales significatives de la fertilité naturelle du sol et/ou sur les différences de technique culturelle (par exemple dans les climats à étés secs: "irriguées" ou "non irriguées").

Il n'a pas encore été possible, dans le présent travail, de ventiler les données par aires de culture écologiques bien définies. Quoiqu'il en soit, on ne peut méconnaître l'incidence considérable du climat régional sur la croissance des arbres et des fruits lorsqu'on considère les différences apparaissant dans les caractéristiques de croissance dans des conditions de culture méridionales, d'une part, et dans les conditions rencontrées au nord des Alpes, d'autre part.

Il conviendrait également d'effectuer une répartition d'après certains critères de fertilité du sol, mais jusqu'ici, il n'a pas été possible d'y procéder scientifiquement avec les données disponibles, lacune qui est certainement à l'origine de cette "variance résiduelle" des différents complexes de données. Il est vrai qu'on peut admettre que des sols de qualité particulièrement défavorable ne se rencontrent guère dans le domaine de l'arboriculture fruitière intensive considérée ici, et qu'ils ne figurent donc pas davantage dans les données.

Pour pouvoir relever effectivement la croissance naturelle de la couronne, le choix a été porté exclusivement sur des arbres dont la croissance ne paraissait pas entravée par la concurrence directe d'arbres voisins ou par des opérations de taille limitatives. Comme les plantations fruitières modernes atteignent pratiquement toujours à maturité une densité telle que les arbres se concurrencent mutuellement, il est malaisé de trouver des objets d'expérience appropriés d'un âge supérieur à dix ans.

La "troisième approche" de la loi du rendement de MITSCHERLICH, d'après BOGUSLAWSKI et SCHNEIDER, ne laissait à désirer en rien pour ce qui était de l'adaptation à la croissance naturelle de la couronne. Appliquée à notre exemple de la classe de l'arbre (k) en tant que fonction de l'âge, la fonction présente la forme générale suivante:

$$k(t) = k_{\max} \cdot e^{-c \cdot \left| \ln \frac{t}{t(k_{\max})} \right|^n}$$

où

- t = âge de l'arbre en années
- k(t) = classe atteinte par l'arbre à l'âge t
- k_{max} = classe d'âge maximale
- t(k_{max}) = âge atteint par l'arbre au moment où k a sa valeur maximale
- c et n = constantes caractérisant l'évolution de la croissance

Il faut se demander si à chaque combinaison considérée ici de portegreffe (u), greffon (s) et complexe d'influences écologiques (Øk), il convient d'affecter une fonction de croissance propre, ou si certains de ces facteurs n'ont une incidence manifeste que sur l'accroissement de cette fonction - c.à.d. k_{max} - et non sur les autres paramètres. Les données disponibles ne sont pas encore suffisamment complètes pour permettre de répondre à cette question. Quant aux résultats de mesure publiés dans certains ouvrages relatifs à ce problème, ils ne se rapportent pas au critère "classe d'arbre" - défini pour la première fois dans le présent travail - et ne peuvent donc être utilisés que sous condition.

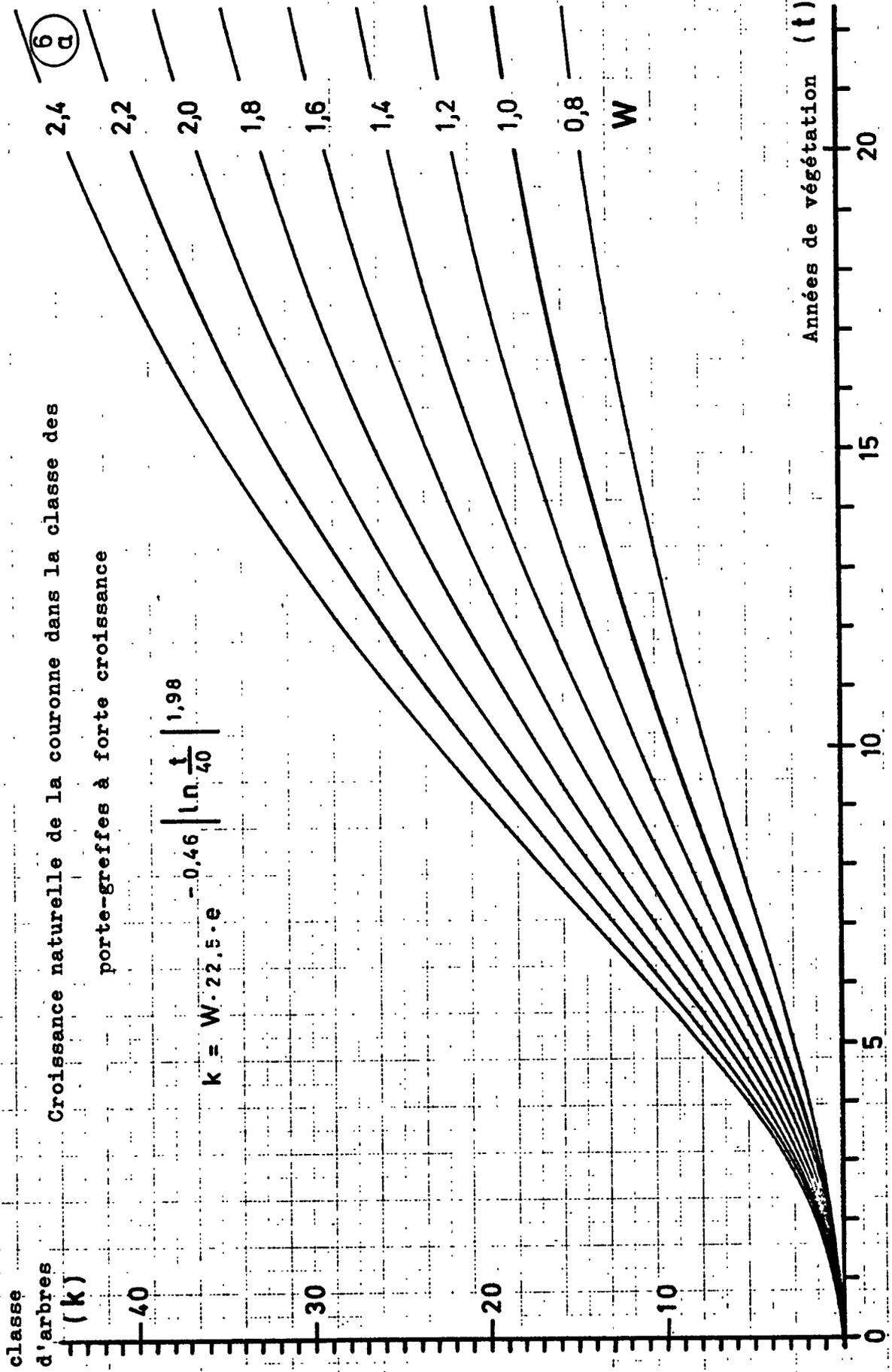
Le système ci-après devrait toutefois permettre de serrer d'assez près les différentes influences s'exerçant sur la croissance des couronnes d'arbres:

1. Pour les trois classes de croissance distinctes des porte-greffes, il a paru nécessaire de déduire des fonctions propres. Comme cela ressort en effet de différents essais de porte-greffes (HATTON cité par KOBEL 1954, MAURER 1965, BLASSE 1965, PARRY 1965, PRESTON 1967, de HAAS et HILDEBRANDT 1967), l'influence du porte-greffe ne se manifeste pas seulement par un taux de croissance différent de la combinaison de greffe, mais l'évolution de la croissance se différencie également par le simple fait que la durée d'existence, et par conséquent aussi la phase d'accroissement, sont plus courtes sur des porte-greffes à croissance plus faible. Sur des porte-greffes à forte croissance nous avons pu encore constater un accroissement de la couronne entre la 30ème et la 40ème année de végétation, tandis que des couronnes posées sur des porte-greffes à faible croissance ne paraissent plus pouvoir se développer après la 20ème année.

Aussi des paramètres de croissance individuels ont-ils été déterminés pour les trois classes considérées. L'âge auquel est atteint le maximum de grandeur de la couronne (t_{kmax}) a été défini par les paramètres (estimatifs) suivants:

porte-greffes de forte croissance	40 ans
porte-greffes de croissance moyenne	30 ans
porte-greffes de faible croissance	20 ans

2. Contrairement au porte-greffe, la variété semble exercer une influence sensible sur le taux de croissance, mais non sur la forme de la fonction de croissance. Cela ressort notamment du fait que, dans des conditions par ailleurs comparables, on ait relevé chez différentes variétés un développement identique de la couronne dans des catégories d'âge différentes.
3. La même remarque vaut pour les ensembles d'influences écologiques. En dépit des taux de croissance fort différents enregistrés d'une région à l'autre pour les mêmes combinaisons de greffe, rien ne permet de conclure que les conditions écologiques provoquent un décalage des relations entre les différentes classes de croissance.



(k)

classe
d'arbres

40

30

20

10

0

Croissance naturelle de la couronne dans la classe des

porte-greffes à croissance moyenne

$$k = W \cdot 13,5 \cdot e^{-0,50 \left| \ln \frac{t}{30} \right|} \cdot 2,00$$

W

2,4

2,2

2,0

1,8

1,6

1,4

1,2

1,0

0,8

Années de végétation (t)

20

15

10

5

6
b

(k)

classe
d'arbres

—40

—30

—20

—10

Croissance naturelle de la couronne dans la classe des
porte-greffes à faible croissance

$$k = W \cdot 8,0 \cdot e^{-0,90 \left| \ln \frac{t}{20} \right|^{1,88}}$$

W

2,4

2,2

2,0

1,8

1,6

1,4

1,2

1,0

0,8

Années de végétation (t)

20

15

10

5

Aussi a-t-on retenu pour le modèle trois fonctions différentes, correspondant aux influences exercées individuellement par les classes de croissance des porte-greffes sur l'évolution de la croissance (figure 6 a - c). En revanche, les influences individuelles des greffons sur le taux de croissance de la combinaison de greffe n'ont, comme les influences écologiques, un effet bien défini que sur l'accroissement des fonctions. Comme, en outre, la valeur initiale de k au moment du plantage est légèrement supérieure à 0, la fonction suit la forme générale $k = a + b \cdot f(t)$. Et la fonction complète s'énonce alors ainsi:

$$k(u, t) = k(u, t_0) + W_s \cdot W_{ök} \cdot k_{\max} \cdot e^{-c} \left| \ln \frac{t}{t_{k_{\max}}} \right|^n$$

où

$k(u, t)$ = Classe d'arbre sur le porte-greffe de la classe u au moment t

$k(u, t_0)$ = Valeur initiale de k après le plantage¹⁾

W_s = Taux de croissance relatif de la variété, par référence à la variété standard Golden Delicious = 1.0

$W_{ök}$ = Taux de croissance dans les conditions données d'écologie et de technique culturale, par référence aux conditions moyennes rencontrées dans la région du lac de Constance (= 1.0)

k_{\max} = Classe d'arbre maximale de la variété standard dans les conditions standards (pour les autres paramètres voir page 42).

Le produit $W_s \cdot W_{ök}$ fournit les paramètres W (taux de croissance individuels) qui sont à la base des familles de courbes des figures 6 a - c. Pour la variété standard, dans les conditions d'environnement standards, $W = 1.0$.

1) Les valeurs initiales de k ne s'écartant pas significativement de 0, comme cela ressort du tableau 6, ce paramètre peut être négligé.

3.3 Paramètres de croissance de la couronne

Répartition en classes de croissance

En s'inspirant des publications relatives aux taux de croissance des porte-greffes de pommes, visées à la page 40, les porte-greffes considérés plus précisément ici ont été répartis en trois classes:

Tableau 2:

Répartition des porte-greffes de pommes considérés, par classes de croissance

croissance forte	croissance moyenne	croissance faible
plantes de semis	M II	M IX
M XI	M IV	
	M VII	

Une nouvelle subdivision pourrait être imaginée dans le groupe moyen, mais elle conduirait trop loin au stade actuel du modèle.

En ce qui concerne le second critère (taux de croissance des différentes variétés) l'auteur a pu s'inspirer non seulement de la littérature spécialisée (KOBEL 1954, HILKENBÄUMER 1964), mais aussi de ses propres observations comparatives sur des variétés coexistant sur des parcelles arboricoles homogènes. Si l'on fixe, conformément à la définition, le taux de croissance de la variété Golden Delicious comme étant égal à 1, on peut déduire, de la relation de cette variété avec d'autres quant à la classe d'arbres, un certain nombre d'indications permettant une classification par variétés (tableau 3).

Tableau 3 :

Relation entre les taux de croissance de différentes variétés de pommes par référence à Golden Delicious:

Variété	Nombre d'observations	Coefficient moyen (W_g)	
Cox's Orange	23	0.99	} groupe standard, croissance moyenne
Reine des reinettes	8	0.99	
Jonathan	5	0.95	
Belle de Boskoop	16	1.42	} croissance forte
Gravensteiner	4	1.40	
Frh. von Berlepsch	4	1.48	
Stark Earliest	3	1.34	
James Grieve	13	0.76	} croissance faible
Transparent blanche	5	0.80	
Imperatore	4	0.73	
Red Delicious	2	1.10	} croissance assez forte
P. cloche d'hiver	4	1.16	
Tijdemans Earl. W.		1.15	

Conjointement avec les indications extraites de la littérature spécialisée, ces observations ont conduit à la répartition provisoire suivante des différentes variétés en classes de croissance:

Tableau 4:

Répartition en classes de croissance des principales variétés de pommes étudiées

Croissance forte	Croissance assez forte	Croissance moyenne	Croissance faible
Frh. v. Berlepsch Belle de Boskoop Gravensteiner Kalterer Böhmer Stark Earliest	Red Delicious Richared Stark Delicious Tijdemans Early W. P. cloche d'hiver	Cox's Orange Reine des reinettes Jonathan Abondance Golden Delicious	James Grieve Transparente blanche Imperatore
$W_s = 1.40$	1.15	1.0	0.75

Au stade suivant de l'exploitation des données, la classe standard (variétés de croissance moyenne) a servi de base à l'adaptation à chacune des trois classes de porte-greffes, de la fonction de croissance répondant à la formule de la page 41. Pour ne pas "diluer" le procédé d'adaptation, on n'a chaque fois utilisé pour cette opération que des données provenant d'une seule région de culture, à savoir, pour les classes de croissance forte et moyenne, les résultats de la région du lac de Constance, et pour la classe de croissance faible, peu représentée dans la région du lac de Constance, les résultats des régions de culture néerlandaises et belges. Dans le cadre du programme d'adaptation on calcule d'abord, d'après les données individuelles, les valeurs moyennes de y correspondant à chaque valeur de x , c'est-à-dire que l'adaptation n'est fondée sur une valeur de y que pour chaque valeur de x rencontrée. C'est ce qui explique aussi le degré élevé d'exactitude.

Les paramètres calculés apparaissent au tableau 5, et les familles de courbes qui en sont dérivées aux figures 6 a - c.

Tableau 5:

Paramètres de la fonction de croissance des différentes classes d'arbres (d'après BOGUSLAWSKI et SCHNEIDER), pour les variétés de croissance moyenne

R é g i o n	Classe de croissance des porte-greffes	t_{kmax} âge auquel l'arbre atteint la classe maximale	c	n	a	b	Nombre de valeurs (n)	r^2
Lac de Constance	Croissance forte	40 ans	0.46	1.98	0.14	22.48	147	0.998
Lac de Constance	Croissance moyenne	30 ans	0.50	2.00	0.08	13.46	37	0.994
Pays-Bas/ Belgique	Croissance faible	20 ans	0.90	1.88	0.09	7.92	43	0.999

En ce qui concerne les données résiduelles, subdivisées par classes de croissance des porte-greffes, classes de croissance des variétés et régions de culture, les paramètres définissant la forme de la courbe (t_{kmax} , c, n) ont été empruntés tels quels au tableau 5, et seuls a et b ont été ajustés d'après la méthode des plus petits carrés, après transformation de t selon la formule $k = a + b \cdot f(t)$.

On a obtenu ainsi les valeurs réunies au tableau 6. On voit que le paramètre a est toujours proche de 0 et peut donc être négligé. Quant à b, il donne toujours directement la valeur maximale de k.

Les données utilisées pour l'établissement des paramètres du tableau 5 ont ainsi été exploitées de cette manière et figurent au tableau 6. Les valeurs standard de b qui en ont été dérivées sont encadrées. Les degrés de certitude (r^2) sont inférieurs à ceux du tableau 5, car on a traité ici non seulement les valeurs moyennes de y pour chaque x, mais toutes les données individuelles.

Tableau 6:

Résultats de l'adaptation à la fonction de croissance par transformation de t selon $k = a + b \cdot f(t)$ (voir le texte pour de plus amples explications)

Classe de croissance des porte-greffes	Classe de croissance des variétés	Région de culture	a	b	Nombre de données	r ²	Intervalle de confiance pour B (p = 0,05)
forte	forte	Lac de Constance	-0.36	32.5	66	0.82	± 11.3
forte	moyenne	Bolzano	-0.09	32.4	40	0.85	± 13.4
forte	moyenne	Tarn/ Garonne	-0.16	31.2	30	0.93	± 10.0
forte	faible	Bolzano	0.38	25.0	10	0.90	± 26.3
forte	moyenne	Lac de Constance	0.14	22.5	147	0.87	± 6.4
moyenne	moyenne	Tarn/ Garonne	-0.07	19.5	9	0.98	± 10.6
moyenne	moyenne	Lac de Constance	0.08	13.5	37	0.94	± 8.9
moyenne	moyenne	Pays-Bas/ Belgique	-0.04	11.8	37	0.92	± 9.9
moyenne	faible	Pays-Bas/ Belgique	-0.16	10.2	8	0.93	± 27.3
faible	moyenne	Tarn/ Garonne	0.03	11.1	16	0.94	± 13.1
faible	moyenne	Pays-Bas/ Belgique	0.09	7.9	43	0.95	± 7.1
faible	moyenne	Lac de Constance	0.10	6.7	48	0.90	± 9.3
faible	faible	Pays-Bas/ Belgique	0.06	5.5	7	0.91	± 34.8

Pour l'interprétation des augmentations, il faut tenir compte du fait que seuls les paramètres d'une même classe de croissance de porte-greffes sont comparables les uns aux autres.

Cela étant, il est nécessaire, pour déduire les paramètres de croissance relatifs, de rapporter les valeurs au paramètre standard et d'établir leur relation à l'intérieur de chaque classe de croissance des porte-greffes. Les paramètres standards pour a - classe de croissance moyenne de la variété, région du Lac de Constance - sont encadrés dans le tableau. Dans la catégorie des porte-greffes à forte croissance, on obtient ainsi, par exemple, pour la classe des variétés à forte croissance, un coefficient de 1,45 (c'est-à-dire $\frac{32,5}{22,5}$), ce qui correspond assez bien à la valeur moyenne de

1,40 (page 43), déterminée par une voie totalement différente. Corollairement, les comparaisons entre les classes de croissance correspondantes de régions différentes conduisent aux coefficients régionaux recherchés: on obtient, par exemple pour Bolzano le coefficient 1,4 par référence à la région du Lac de Constance. Cela veut dire que le potentiel de fructification des pommiers de la province de Bolzano s'accroît 1,4 fois plus rapidement que celui des pommiers du Lac de Constance. Un arbre à forte croissance, par exemple le Gravensteiner, croîtrait $1,4 \cdot 1,4$ fois plus rapidement, c'est-à-dire environ deux fois aussi rapidement qu'un Golden Delicious du Lac de Constance. Inversement, la croissance d'un Gravensteiner du Lac de Constance serait approximativement comparable à celle d'un Golden Delicious de Bolzano, à savoir 1,4 dans chaque cas. D'après les figures 8 a - c, on peut déterminer la classe qu'un arbre est susceptible d'atteindre à un âge donné, en consultant le tableau correspondant à la classe de croissance du porte-greffe, et en se basant sur la courbe de croissance correspondant au taux de croissance calculé ($W = W_{\pi} \cdot W_{\delta k}$).

Les coefficients de croissance qui, bien que reposant parfois uniquement sur des estimations, ont été utilisés jusqu'ici lors des différentes applications du modèle, sont réunis à la page 48. Les paramètres estimatifs sont établis par référence aux paramètres calculés à partir de nos propres estimations sur les conditions de croissance régionales, en se fondant sur l'impression visuelle générale et sur l'opinion des experts locaux. Ces paramètres doivent évidemment être corroborés petit à petit par des mesures.

3.4 La croissance des arbres surgreffés

Un problème particulier quant à la croissance de la couronne est posé par le surgreffage, c'est-à-dire l'élimination d'une variété A et le greffage d'une autre variété B, soit sur la tige existante, soit sur les branches charpentières de la variété rejetée. Pour la variété A, cette opération équivaut à un arrachage, pour la variété B, elle correspond à une plantation nouvelle dans des conditions particulières. Cette nouvelle variété en effet croît généralement beaucoup plus rapidement qu'elle ne le ferait, à conditions égales, dans une plantation

Tableau 7:

Paramètres provisoires relatifs à la correction écologique de la croissance des arbres (végétative) et des fruits, ainsi qu'en ce qui concerne les pleines capacités moyennes (valeurs estimatives)

Pays	Aire de culture écologique (répartition provisoire)		Croissance végéta- tive		Pleine capaci- té moyenne	
	Région	Sous-région	Wök	Gök	pommes	poires
RFA	Lac de Constance		1.00	1.00	3.4	3.8
	Rhénanie	Rhénanie du Nord	0.90	0.98	2.6	3.0
		Cologne / Bonn / Meckenheim	1.05	1.02	2.9	3.3
		Berg. Land	1.00	1.00	2.8	3.2
F	Tarn-et-Garonne	Vallées irriguées	1.60	1.15	4.4	4.6
		non irriguées	1.20	1.05	4.0	4.2
		Collines irriguées	1.40	1.10	4.4	4.6
		non irriguées	1.05	1.00	4.0	4.2
I	Province de Bolzano	Vallée de l'Adige	1.40	1.10	4.2	4.5
		Val Venosta / Isarco	1.20	1.04	3.8	4.2
	Province de Ferrare	-	1.60	1.10	4.2	4.8
PB	Côte occidenta- le	-	1.10	1.05	3.2	3.6
	Région centrale	-	1.03	1.00	3.1	3.5
	Sud-Est	-	1.02	1.02	3.1	3.5
	Polder de l'Ijsselmeer	-	1.20	1.07	3.4	3.8

nouvelle. Elle se trouve dans la situation d'une plantation nouvelle sur un porte-greffe particulièrement fort. Etant donné que les conditions de croissance de la variété nouvelle peuvent varier considérablement selon l'âge de la plante, la nature du porte-greffe, l'état de l'ancien effectif d'arbres, l'affinité des éléments à associer, la qualité du greffage etc., tout cas individuel constitue en principe ici un cas particulier, dont aucune généralisation ne peut rendre compte. Néanmoins, un trait commun aux sujets surgreffés est que leur croissance est normalement supérieure à celle des jeunes arbres. En outre, pour des raisons physiologiques qu'il serait trop long d'expliquer ici, le surgreffage provoque généralement, malgré la forte croissance végétative, une fructification précoce de la nouvelle variété. Aussi l'auteur pense-t-il traduire valablement l'effet du surgreffage sur le rendement du greffon en considérant que l'on est en présence des conditions propres à un porte-greffe à croissance particulièrement forte, liées néanmoins - contrairement à la tendance habituelle - à un pouvoir de fructification relativement précoce. C'est pourquoi, pour les surgreffages, W est multiplié complémentai-
rement par 1,5, et la première année de végétation est sautée, c'est-à-dire que le surgreffage est traité comme une plantation nouvelle entrée sur un porte-greffe à croissance particulièrement forte et se trouvant déjà dans sa deuxième année de végétation.

Il serait évidemment possible de perfectionner ce modèle, mais cette opération ne présente guère d'intérêt, compte tenu de l'importance limitée du cas particulier considéré. Elle serait d'ailleurs irréalisable en pratique étant donné que la statistique des cultures n'est généralement pas en mesure de fournir des renseignements sur l'âge, la variété initiale et le porte-greffe des arbres surgreffés. Or, ces informations seraient indispensables au perfectionnement du modèle.

3.5 Relation entre la croissance du tronc et de la couronne

La grosseur du tronc est considérée comme un étalon valable du rendement végétatif des arbres fruitiers (MOORE 1966, 1968, GLENN et ROGERS 1964, TOMCSANYI 1967). MOORE (1966) a découvert une corrélation entre l'accroissement annuel de la section transversale du tronc

les critères physiologiques et écologiques ne sont pas non plus suffisants pour réduire le champ des possibilités dans chaque cas particulier.

Mais on peut s'attendre à ce que la densité de l'effectif, c'est-à-dire le nombre d'arbres par unité de surface, présente une certaine relation avec la taille maximale des sujets. Plus grands seront les espacements et plus longue sera la période pendant laquelle le sujet pourra poursuivre la croissance de sa couronne sans disputer son espace vital à ses voisins. L'arboriculteur veillera dans ce cas à ne pas limiter trop tôt la croissance de l'arbre, pour ne pas nuire à la capacité de rendement. Néanmoins, une situation dans laquelle tout nouvel accroissement de la couronne sera biologiquement et économiquement inopportun ou impossible interviendra d'autant plus tôt que l'effectif sera plus dense et la croissance des arbres plus forte. Les principaux critères de limitation sont les suivants:

- l'influence de la lumière sur la nouaison et la qualité des fruits
- les possibilités de circulation dans l'exploitation pour les opérations de traitement mécanique
- l'accessibilité des couronnes d'arbres pour les travaux manuels, notamment la cueillette et la taille.

Les recherches ont fait apparaître que la somme des classes d'arbre par unité de surface constitue dans une large mesure un critère de la "limite de croissance critique" d'un effectif d'arbres, indépendamment du système de plantation.

Au chapitre II,1, nous avons défini le potentiel-arbres comme la somme des classes d'arbres d'une certaine superficie ou même d'une région de culture entière, divisée par 1.000:

$$K = \frac{\sum k}{1.000}$$

Le potentiel-arbres à l'ha est ainsi:

$$K_{ha} = \frac{k_m \cdot 10.000}{1.000 \cdot st}$$

ou

$$K_{ha} = \frac{10 k_m}{st}$$

(st = surface occupée = interligne x espacement,
k_m = classe d'arbre moyenne).

Le potentiel-arbres par ha, généralement déterminé artificiellement et auquel on se réfère en matière d'effectif d'arbres, doit être qualifié de "potentiel total", le potentiel total caractéristique d'une région étant dans ces conditions le potentiel-arbres par ha, considéré comme valeur moyenne de la région.

Des données expérimentales (tableau 7) montrent que les dispersions autour des valeurs régionales moyennes du potentiel total ne sont pas négligeables, mais qu'il est néanmoins possible, en procédant à un échantillonnage d'ampleur modérée, d'établir des valeurs moyennes suffisamment sûres. En outre, le tableau 7 fait apparaître un certain nombre de divergences régionales caractéristiques qui nécessitent l'établissement de paramètres régionaux.

Les différences régionales sont essentiellement imputables aux causes suivantes:

Biologiques

- Dans les zones de climat méditerranéen, les conditions d'éclaircissement sont meilleures qu'au nord des Alpes. Aussi une bonne nouaison et une bonne maturation sont-elles encore possibles, même si le potentiel total est plus élevé.

Economiques

- Dans les régions comportant des exploitations de taille réduite, le besoin prévaut d'obtenir des rendements élevés à l'ha en s'accommodant d'un surcroît de travail manuel (exemple: province de Bolzano). Là où le pourcentage d'exploitations de grande taille est plus élevé, la productivité du travail est plus importante que le rendement à l'ha (grosses exploitations dans le sud de la France).

Psychologiques

- Les doctrines admises au plan régional peuvent modifier le tableau. C'est ainsi, par exemple, qu'en ce qui concerne la culture des poires dans la province de Ferrare, la palmette, propagée par BALTASARI

(arbre haut et étroit permettant un espacement relativement réduit) a connu une diffusion telle que ce système de culture, d'un potentiel total élevé à l'ha, exerce une influence capitale sur la valeur moyenne régionale, bien que pour les grosses entreprises, qui ne sont pas rares dans cette région, une forme de culture plus extensive effectuée à la main pourrait également être envisagée et serait même éventuellement plus économique.

Tableau 8

Potentiels totaux à l'ha (valeurs moyennes calculées)

Pays	Région	Classes de croissance variété	Classe de croissance porte-greffes	Potentiel total moyen	Nombre	s	s %	Int.de conf. p = 0,05	
								abs.	en %
RFA	Lac de Constance	toutes	toutes	3.71	20	0.46	12.40	±0.22	± 5.8
RFA	Rhénanie	toutes	toutes	3.58	9	0.92	25.66	0.72	19.7
F	Tarn / Garonne	toutes	toutes	4.41	11	0.90	20.56	0.62	13.8
I	Adige	toutes	toutes	5.53	9	0.81	15.26	0.63	11.7
I	Prov. de Ferrare	toutes	toutes	4.78	19	1.03	21.58	0.51	10.4
B et PB	toutes régions	toutes	toutes	4.21	52	0.89	21.15	0.26	5.8
PB	Côte occidentale	toutes	toutes	4.74	9	0.89	18.82	0.69	14.4
PB	Région centrale	toutes	toutes	4.13	13	1.13	27.50	0.69	16.6
B et PB	Sud-Est	toutes	toutes	4.28	22	0.71	16.79	0.32	7.4
PB	Polder de l'Ijsselmeer	toutes	toutes	3.58	8	0.53	14.93	0.46	12.4
B et PB	toutes régions	toutes	faible	4.25	29	0.81	19.18	0.32	7.2
B et PB	toutes régions	toutes	moyenne	4.20	20	1.01	24.17	0.49	11.3

On ne peut donc admettre que le "potentiel total" caractéristique d'une région dépend exclusivement de facteurs écologiques. Dans certaines circonstances, des critères tels que la structure des exploitations et les traditions culturelles régionales influencent ce paramètre dont l'incidence est relativement grande sur le résultat des prévisions.

Les données disponibles jusqu'ici ne permettent pas encore de définir les potentiels totaux moyens régionaux. Elles doivent être fondées sur un échantillonnage représentatif. De toutes manières, les valeurs moyennes calculées d'après ces données apparaissent légèrement surfaites car elles proviennent essentiellement d'exploitations ayant un caractère intensif supérieur à la moyenne. C'est pourquoi nous avons retenu comme paramètres, pour les exemples d'application pratique, des potentiels totaux inférieurs de 10 % aux valeurs obtenues.

Depuis un certain nombre d'années, l'arboriculture intensive a de plus en plus tendance à limiter plus tôt qu'auparavant le développement de la couronne vers le haut, pour des raisons d'organisation du travail. Il en résulte qu'en cas d'espacements importants, qui à l'âge du plein rendement, exigent des arbres relativement hauts, le potentiel total biologiquement optimal n'est pas atteint. Dans les plantations denses, en revanche, le même potentiel total est atteint avec des arbres sensiblement moins élevés. Des grands arbres ne se justifieraient d'ailleurs pas pour des raisons d'éclairément.

Tableau 9:

Dimensions nécessaires de la couronne (dans le cas de couronnes rondes) pour atteindre des potentiels totaux de 4.0 pour différents écartements entre les plantes

Ecartements entre les plantes en m	Arbres par ha	Classe d'arbre requise par arbre	Diamètre moyen possible de la couronne (1)	Hauteur moyenne nette requise de la couronne (2)	Hauteur brute de la couronne (3)
8 x 6	208	19.3	4.8	4.0	5.6
6 x 4	416	9.6	3.2	3.0	4.4
4 x 2	1.250	3.2	1.6	2.0	3.2
3 x 1	3.330	1.2	0.8	1.5	2.6

1) Dans chaque cas, 80 % de l'espacement dans la rangée.

2) Hauteur moyenne sans la tige.

3) De la cime au sol.

Le tableau 9 montre la relation entre l'espacement des plantes et la hauteur que doivent avoir les couronnes pour atteindre des potentiels totaux de 4.0/ha. La hauteur brute de la couronne étant généralement limitée aujourd'hui à 4 m au maximum, on obtient d'ordinaire avec les grands espacements un déficit de potentiel. Il existe donc une corrélation positive entre le potentiel total moyen et la densité de plantation. On travaille actuellement à perfectionner le modèle sous ce rapport, mais il n'est encore possible de fournir aucun paramètre.

Dans le modèle de prévision, c'est le paramètre "potentiel total" qui sert à déterminer dans quelle mesure et à quel moment la croissance naturelle d'un effectif d'arbres doit être considérée comme terminée. Les opérations mathématiques sont les suivantes:

1. D'après la fonction de croissance correspondant au taux de croissance de la combinaison de greffe (cf. figure 6 a - c), on déduit la grandeur de couronne naturelle moyenne pour l'âge recherché.
2. En multipliant la classe d'arbre moyenne obtenue par le nombre d'arbres à l'ha, on obtient la valeur globale des classes d'arbres.
3. On examine si la valeur globale recherchée est supérieure à la valeur maximale moyenne admissible, à savoir le potentiel total. Dans l'affirmative, on retient le potentiel total, dans la négative, la valeur calculée. Dans ce dernier cas, l'âge du "plein rendement" n'est donc pas encore atteint.

Les figures 8 a - d permettent de déterminer, pour chaque classe de croissance de porte-greffes en particulier, ainsi que pour diverses valeurs de W , après combien d'années de végétation un potentiel-arbres de 3,5/ha est atteint, en fonction du nombre d'arbres par ha. Pour les porte-greffes à croissance faible, on a en outre effectué le calcul pour 4.5 K/ha. L'allure des courbes permet de faire deux constatations: d'une part, en deçà d'un certain nombre minimum d'arbres à l'ha, le potentiel total n'est jamais atteint, cas qui se produit dans de nombreuses vieilles plantations; d'autre part, on voit nettement combien est faible l'incidence eu égard à l'âge de plein rendement, lorsque les densités des plantations dépassent un ordre de grandeur de 2.000 arbres à l'ha.

En ce qui concerne l'espace disponible, un cas particulier est constitué par la plantation intermédiaire, c'est-à-dire le remplissage des intervalles dans les plantations par des arbustes qui, généralement, portent rapidement des fruits et ont une faible croissance. La part définitive de ces arbustes dans l'effectif global peut varier fortement d'un cas à l'autre et, entre l'arrachage des arbustes lorsque les arbres ont atteint une certaine taille et l'arrachage des arbres qui ont cessé d'être rentables, toutes les opérations possibles peuvent être imaginées. Dans le modèle, nous adoptons une solution de compromis, à savoir que les plantations intermédiaires atteignent 60 % d'un potentiel total normal, ces plantations étant traitées par ailleurs comme des plantations normales.

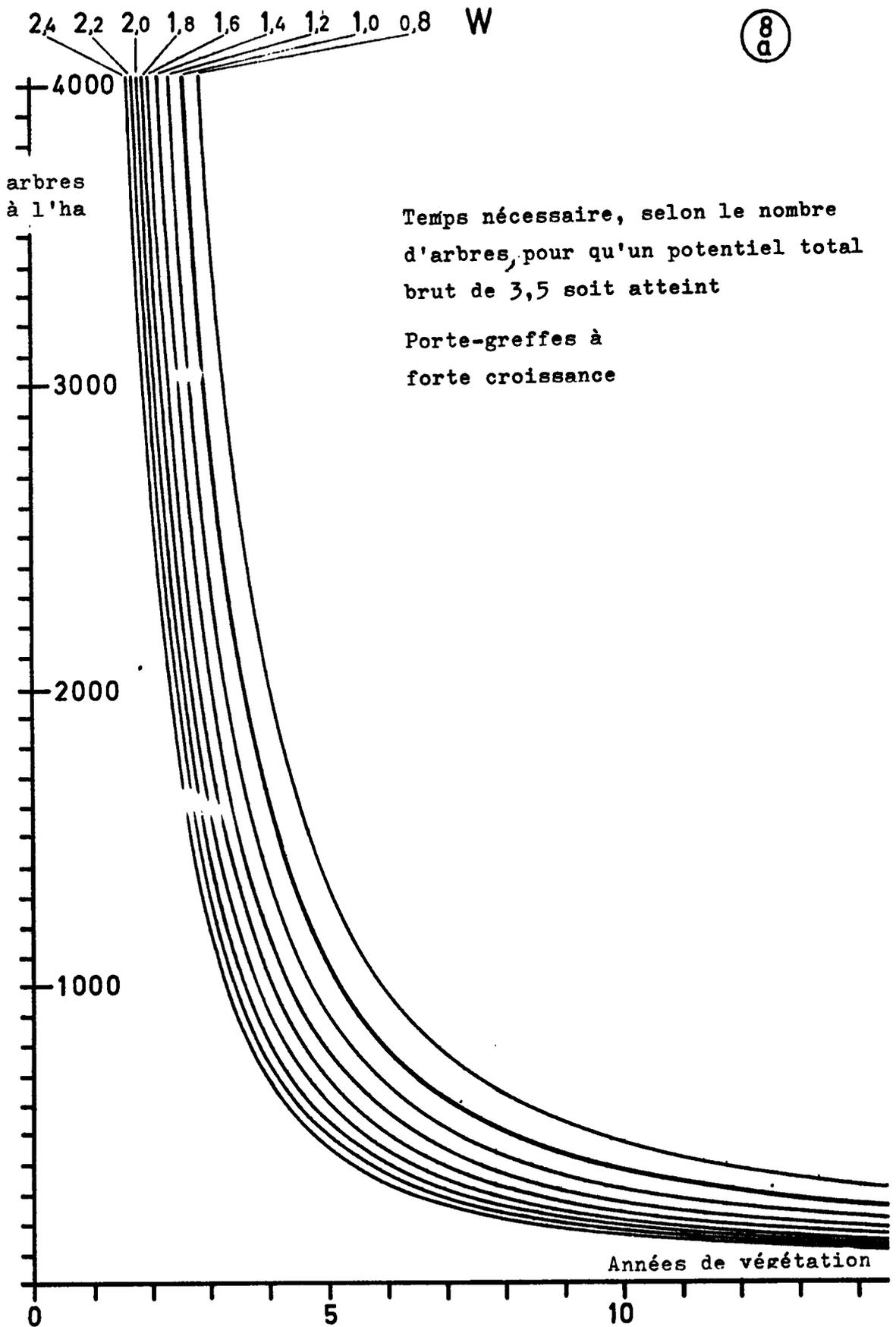
Résumé II,3

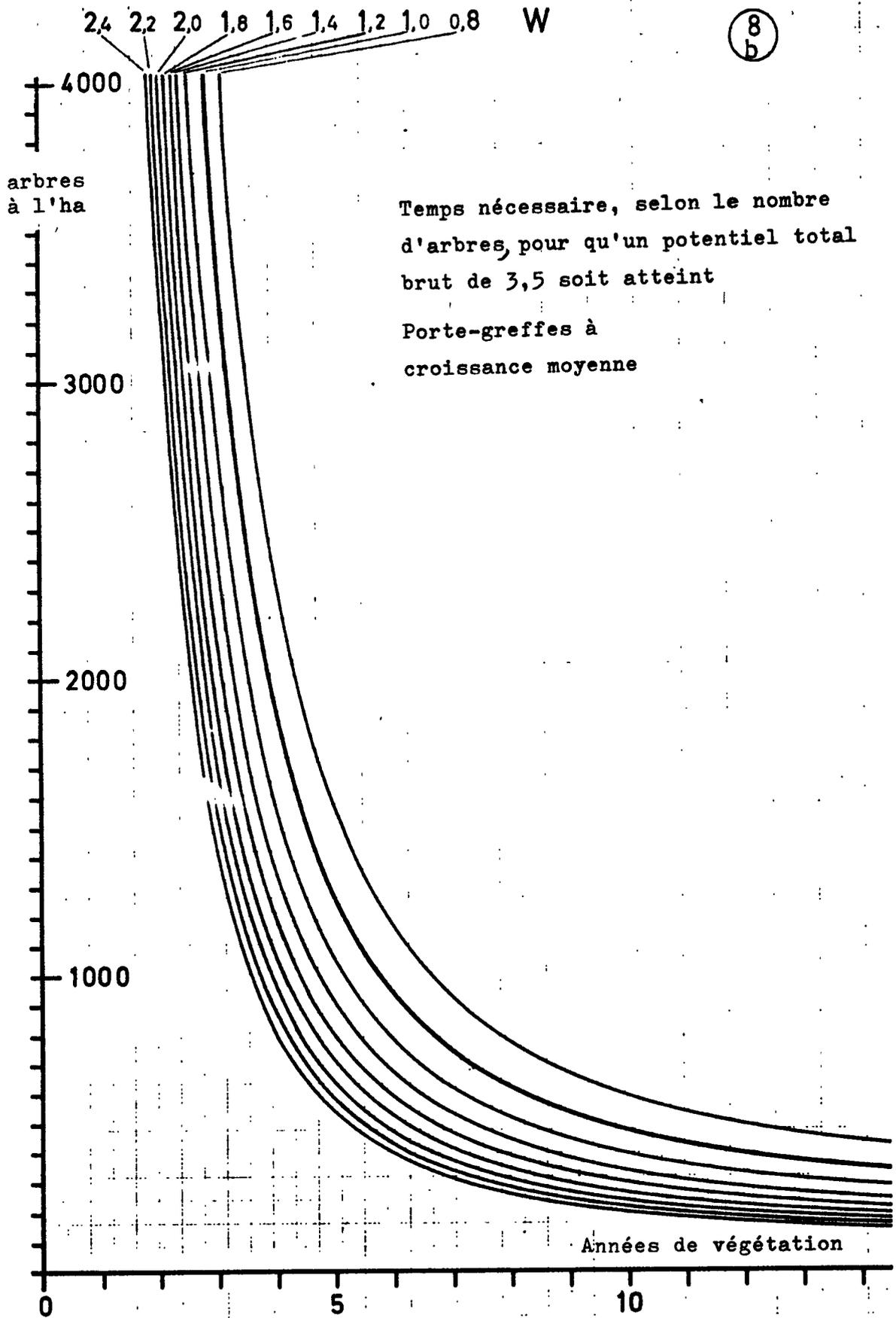
Le potentiel-arbres annuel d'un effectif homogène représente la valeur intermédiaire d'un processus cumulatif pluriannuel dont le déroulement est déterminé tant par les propriétés de croissance de la combinaison de greffe, fixées par les lois génétiques, que par les influences environnementales exercées par la nature et propres à la technique culturale. En relation avec le temps, la croissance des couronnes d'arbres présente une allure sinusoïdale, caractéristique de nombreux processus de croissance biologiques, qu'on peut parfaitement définir comme fonction en appliquant la troisième approche de la loi du rendement de MITSCHERLICH, mise au point par BOGUSLAWSKI et SCHNEIDER.

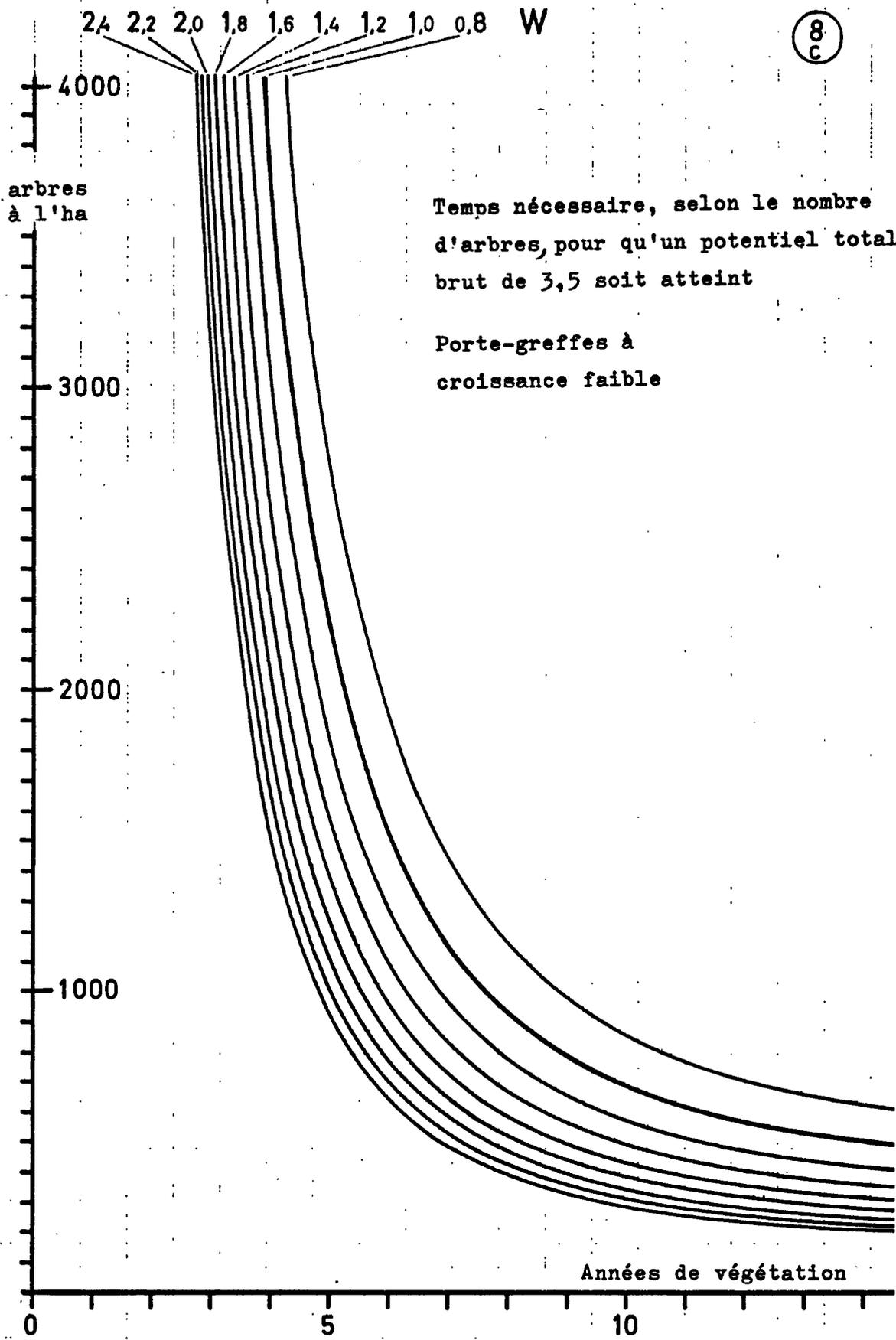
Les trois classes de croissance de porte-greffes exigent néanmoins certains ajustements individuels. En revanche, il semble justifié de tenir compte des effets de croissance des greffons et des influences environnementales par des paramètres qui influent uniquement sur la courbe de la fonction.

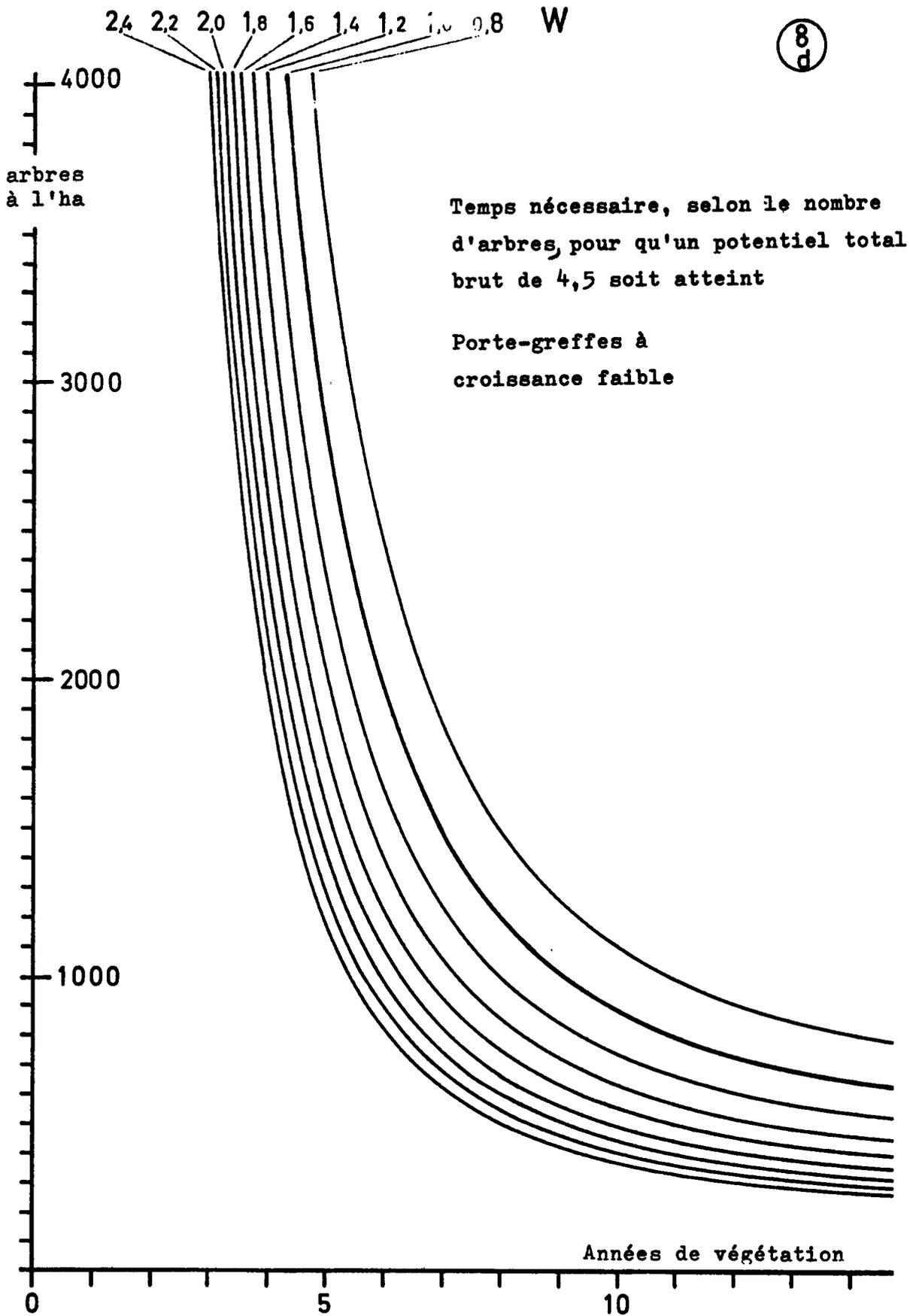
Les paramètres de croissance ont été définis à partir de 500 mesures de classes d'arbres et de comparaisons de croissance relative de diverses variétés dans des parcelles comparables.

Dans les cultures en enclos, le développement de la couronne est limité artificiellement à partir d'une certaine grandeur d'arbre qui varie en fonction de l'espace réservé à chaque arbre. Cette situation peut être définie par la notion de "potentiel total", valeur maximale









moyenne du potentiel-arbres à l'hectare pour une région déterminée. La croissance des plantations intermédiaires est limitée à 60 % du potentiel total normal.

Les arbres surgreffés sont, du point de vue du greffon, considérés comme des plantations nouvelles, bien qu'on ait recours à des paramètres de croissance spéciaux.

Il existe entre la classe d'arbres et le périmètre du tronc une corrélation quadratique, dont la validité est néanmoins sujette à réserve.

4. Densité de la charge en fruits

La croissance végétative d'un arbre est un processus cumulatif à long terme. La charge en fruits, en revanche, se constitue à nouveau à chaque période de végétation. Aussi sa densité présente-t-elle, d'une année à l'autre, des différences qui peuvent être très considérables et qui constituent la principale cause des fluctuations annuelles du rendement fruitier.

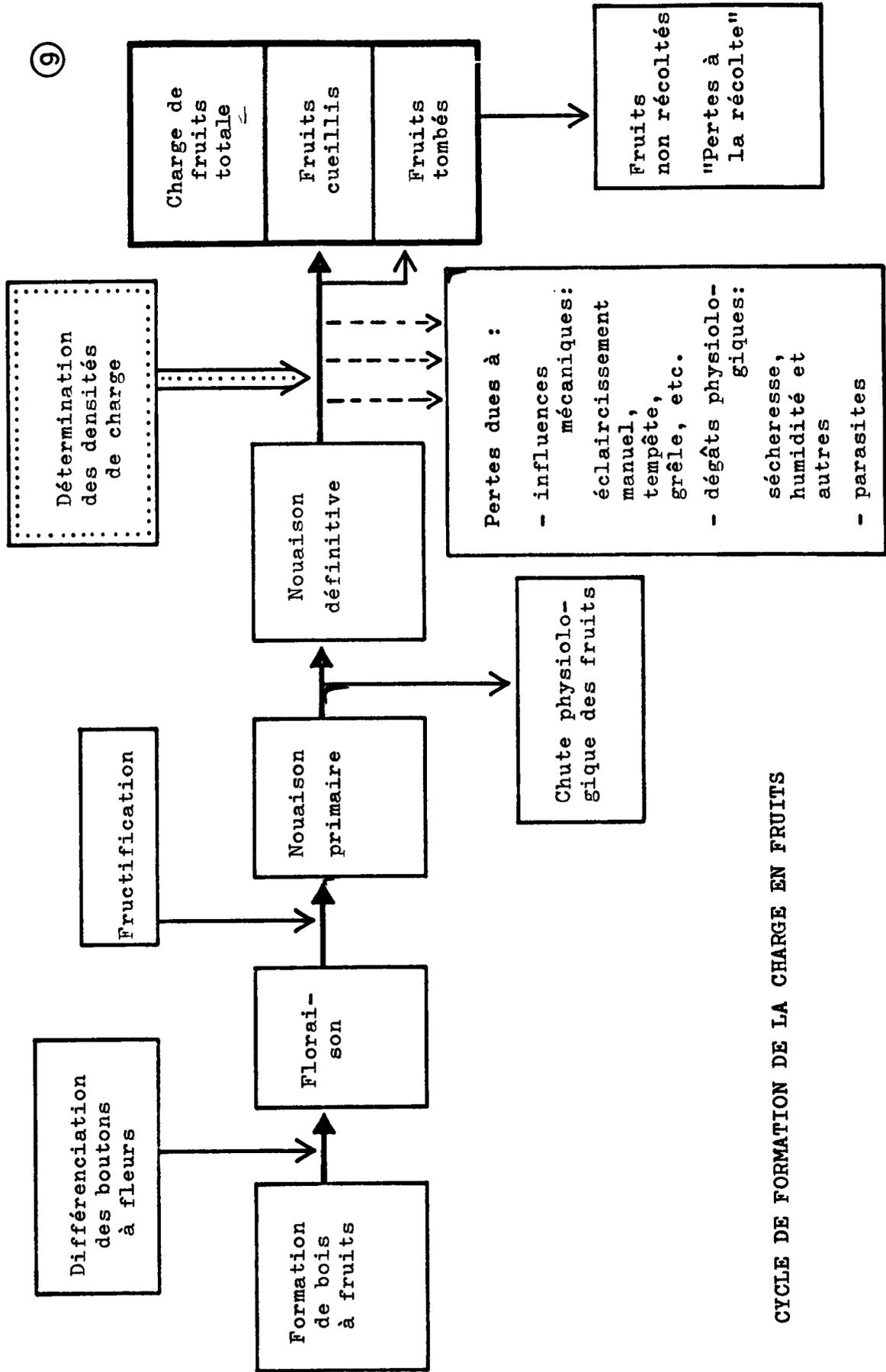
En ce qui concerne le modèle de prévision, il convient d'examiner les points suivants:

1. Quelles sont les conditions qui influent sur la densité de charge en fruits?
2. a) pour la prévision courante:
A quel moment la densité de charge en fruits définitive peut-elle être déterminée?

b) pour la prévision potentielle:
Pourrait-on définir des "densités de charge normales" caractéristiques du comportement à cet égard des différentes variétés dans des conditions environnementales définies, et pouvant ainsi servir de base à des prévisions pluriannuelles?
3. Comment des valeurs moyennes de densité de charge en fruits peuvent-elles être déterminées sur l'objet lui-même?

4.1 Exposé des problèmes relatifs à la densité de charge en fruits

Les phases de développement physiologique du cycle végétatif qui ont une importance pour la densité de charge en fruits sont schématisées à la figure 9. La formation de plants fruitiers est déterminée en dernier ressort par toutes les influences endogènes et exogènes. La nature et l'intensité de la taille revêtent dans ce cas une importance particulière. La première condition à la différenciation des boutons à fleurs est l'existence d'une grande quantité de bois à fruits capables de former des organes de reproduction. A partir de là, le nombre d'inflorescences qui se forment effectivement sur les coursons dépend d'un grand nombre de facteurs. Le résultat de cette phase est une certaine floraison. Si la floraison est très faible ou inexistante, on peut conclure à une récolte maigre ou déficitaire. Mais dans l'hypothèse inverse, il serait trop risqué de conclure étant donné que les fortes variations de la fructification en fonction des conditions météorologiques ainsi que la chute physiologique des fruits à une phase ultérieure peuvent encore modifier sensiblement le résultat final. En revanche, au terme de la chute physiologique des fruits, c'est-à-dire à partir d'un diamètre moyen des fruits de l'ordre de 30 mm, la nouaison peut être considérée comme définitive. Se basant sur des observations courantes de la nouaison entre la floraison et la récolte, KEMMER et STECKEL (1959) arrivent à cette conclusion que les pertes dues à des chutes entre la nouaison et la récolte de juin et l'automne sont minimales et ne représentent qu'environ 2 %. Il faut s'assurer, il est vrai, qu'aucun éclaircissement artificiel (manuel) des fruits n'est effectué après la mesure de la charge, mais une telle intervention devrait normalement avoir eu lieu à ce moment. Il n'empêche qu'un éclaircissement naturel de la charge, par suite d'événements exceptionnels (par exemple grêle, sécheresse) n'est pas à exclure. Avant la récolte enfin, il se produit une nouvelle chute de fruits qui augmente avec le temps et dont l'ampleur dépend des propriétés variétales ainsi que de certaines influences environnementales. Selon les conditions météorologiques et en fonction de la situation dans l'entreprise et sur le marché, les fruits tombés peuvent soit être ramassés et participer ainsi à la récolte, soit être considérés comme perdus. Comme ces fruits ont presque ou entièrement atteint leur degré maximal de maturation sur



CYCLE DE FORMATION DE LA CHARGE EN FRUITS

L'arbre il est normal qu'on les inclue dans la densité de charge en fruits. Toutefois, le pourcentage des fruits poussés sur un arbre et effectivement récoltés constitue un problème de "pertes à la récolte", dont il sera fait état plus loin.

Ainsi on suppose, en ce qui concerne le modèle, que la charge en fruits subsistant après les chutes de nouaison est définitive et représente donc en règle générale la récolte, y compris les pertes. C'est dire qu'à partir de ce moment au plus tard, un échantillon des densités de charge doit fournir des résultats représentatifs.

Mais on peut toujours se demander dans quelle mesure il ne serait pas possible et judicieux d'obtenir dès avant cette date des indications sur la nouaison définitive.

Il est bien évident qu'il est attrayant et intéressant d'essayer d'avancer la date d'une première prévision courante en analysant plus à fond, comme l'ont déjà fait certains auteurs, les causes de la formation de bois à fruits, et notamment de la floraison et de la nouaison. C'est ainsi, par exemple, qu'on peut utiliser la tendance à la productivité périodique (alternance) pour prévoir l'intensité de la floraison. Ce que nous savons actuellement des lois de l'alternance, tant par l'observation physiologique (SCHUMACHER 1965) que par le dépouillement statistique de courbes de rendement rythmiques (indice d'alternance) (GRUPPE 1960, PFEFFER 1967) permet d'entrevoir des possibilités d'amélioration du modèle de prévision potentielle. De même, nous possédons certains indices concernant l'influence des conditions météorologiques de l'année écoulée sur la formation des boutons à fleurs. ZELNER (1958, 1960) a pu démontrer que "l'impulsion de floraison", c'est-à-dire le commencement de la différenciation des boutons à fleurs, atteint son maximum, selon la variété, 40 à 80 jours après la floraison. L'intensité de la floraison de l'année à venir est donc déjà déterminée au milieu de l'été de l'année précédente. Un jour viendra où l'on connaîtra suffisamment bien les facteurs qui exercent une influence décisive sur l'impulsion de la floraison pour pouvoir établir un modèle de prévision de l'intensité de la floraison, d'après des critères propres à l'été écoulé.

Néanmoins, il reste un tel degré d'incertitude quant à la nouaison définitive, notamment en ce qui concerne les conditions météorologiques pendant la floraison, que l'effet d'une première prévision avancée de quelques semaines ou de quelques mois ne semble guère valoir le risque que cette opération comporte. Dans l'état actuel de nos connaissances, l'exactitude de la prévision potentielle basée sur des "hypothèses normales" ne devrait pas être sensiblement dépassée.

C'est pourquoi le présent modèle repose sur l'hypothèse selon laquelle la densité de charge, une fois la chute de nouaison terminée, reste pratiquement stable jusqu'à la récolte. Les indications recueillies avant ce délai sont entachées d'une trop grande incertitude et ne doivent donc pas être prises en considération pour l'instant.

Une prévision potentielle reposant sur des "hypothèses normales" exige qu'on dispose d'informations sur les valeurs normales de densité de charge en fruits. Or, il va de soi que ces densités de charge normales diffèrent non seulement selon la variété mais aussi selon le porte-greffe et la région de culture. Des valeurs normales fiables ne peuvent être le fruit que d'observations portant sur de nombreuses années. Néanmoins, certains résultats expérimentaux et l'expérience de la vie courante nous permettent de nous faire une certaine idée de la productivité des différentes variétés de fruits à pépins. D'ailleurs les hypothèses qui sont à la base du présent travail (tableau 9) ne doivent être considérées que comme des valeurs estimatives provisoires. Dans la pratique, les valeurs normales ne doivent nullement être identifiées aux valeurs optimales: pour une variété naturellement productive comme la Golden Delicious, la valeur normale et la valeur optimale (économiquement visée) sont proches l'une de l'autre alors que l'optimum est généralement loin d'être atteint avec une variété "incertaine" comme Cox's Orange. D'autre part, des variétés dont le poids individuel des fruits est élevé (par exemple Belle de Boskoop) peuvent, même à densité de charge moyenne, fournir des rendements globaux élevés et vice versa.

Tableau 10:

Densités de charge normales par région (valeurs estimatives provisoires)

Variétés de pommes	Allemagne (RF)		Pays-Bas					France dépt. Tarn et Garonne		Italie		
	Lac de Constance	Rhénanie	Côte Occidentale	Région Centrale	Sud-Est	Polder de l'Ijsselmeer	Vallées irriguées	Collines et plateaux	Val Venosta	Prov. Bolzano	Adige	Ferrare
Abondance												10.0
Berlepsch		5.0										
Belle de Boskoop	5.0	5.0	4.5	4.5	5.5	5.5						
Reinette de Champagne									9.0	8.0		
Cox's Orange	5.5	6.0	5.5	5.5	6.5	6.5						
Democrate												9.0
Cloche	5.0											
Golden Delicious	6.5	6.5	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0	9.0	9.0	7.5		9.0
Reine des reinettes	6.0	6.5					7.0	8.0	8.0	7.0		
Gravensteiner	4.5								7.0	6.5		
James Grieve	7.0	7.0	6.0	6.0	7.0	7.0						
Jonathan	5.5	6.0	5.5	5.5	6.5	6.5	7.0	8.0	8.0	6.5		8.0
Kalterer Böhmer									9.0	8.0		
Laxton Superb			4.0	4.0	5.0	5.0						
Lomb. Calvill			5.0	5.0	6.0	6.0						
Rome Beauty									8.5	7.5		9.0
Oldenburg		7.0										
Red Delicious							6.0	7.5	7.0	6.0		6.0
St. Earliest		5.5	6.5	6.5	7.5	7.5						
Transparent blanche	6.5	7.0	7.0	7.0	8.0	8.0						
Winesap							7.0	8.0	7.5	6.5		7.0
<u>Variétés de poires</u>												
Ab. Fétel												6.5
Alex. Lucas	4.0	4.0										
Alexandrine Douill.							7.0	8.0				
Beurré Hardy		4.0					4.5	5.0				
Bonne Louise												
Légipont		5.0										
Clairgeau							7.0	8.0				
Clapps Favorite		6.0										
Conférence		6.5										
Jules Gujot							7.0	8.0				
Grand Alexandre									8.0	7.0		7.5
Passé Crassane							5.5	6.5				6.5
Préc. de Trevoux		6.5							8.5	7.5		
Bon chrétien William	5.0	6.0					7.0	8.0	8.0	7.0		8.0

Remarque: Les variétés sont désignées par les appellations internationales les plus courantes qui sont essentiellement, pour les poires, d'origine française.

4.2 Mesure des valeurs moyennes de densité de charge

Vu l'impossibilité de calculer les densités de charge courantes à partir de tout autre critère, ces densités doivent être recalculées chaque année pour les prévisions courantes de rendement. Comme nous pouvons supposer que la densité de charge reste constante entre le moment de sa détermination et la récolte, le problème de la transformation ne se pose pas. Les valeurs déterminées peuvent être utilisées directement pour le calcul du rendement. La difficulté consiste donc uniquement à établir rationnellement un échantillon représentatif.

Avant de définir l'univers, il convient d'examiner les points suivants:

1. Quelles sont les influences des facteurs environnementaux sur la densité de charge?
2. Existe-t-il une relation entre les densités de charge de différentes variétés?
3. Existe-t-il une relation entre les densités de charge d'arbres d'un âge différent ou différemment conditionnés de la même variété?

4.21 Influence de facteurs environnementaux

A l'intérieur des limites de fluctuation qu'autorisent les propriétés génétiques, ce sont les facteurs environnementaux et, notamment, vu la constance relative des autres facteurs, les effets variables des conditions météorologiques qui, d'une année à l'autre, modifient directement ou indirectement la charge en fruits. Les conditions météorologiques pouvant être fort variables d'une région de culture à l'autre, les charges en fruits annuelles des différentes régions correspondent d'autant moins que les disparités climatiques sont plus prononcées. Rien que pour cette raison, les valeurs moyennes de densité de charge ne peuvent avoir qu'une valeur géographiquement limitée. A ces conditions générales s'ajoutent les influences clima-

tiques locales, notamment les gelées tardives qui peuvent même provoquer une sérieuse limitation de la charge sur un espace réduit. Par ailleurs, la même influence climatique peut avoir des répercussions différentes, telle la sécheresse, lorsque la capacité d'eau du sol varie. Enfin, il est fréquent que des conditions météorologiques identiques produisent au même moment un effet différent sur les plantations de diverses régions culturales, compte tenu des écarts entre les différents stades de développement phénologique des plantes, phénomène qui peut se manifester à un même moment par une différence de sensibilité, par exemple à l'égard des gelées.

Parmi les influences qui présentent une variabilité moindre d'une année à l'autre, il faut citer en particulier les facteurs de fertilité du sol. Néanmoins, comme ceux-ci forment souvent une véritable mosaïque de zones restreintes, il est techniquement impossible de répartir les régions de culture d'après ce critère, et la seule issue est d'accepter les dispersions qu'ils provoquent dans les densités de charge de l'échantillon.

La même constatation s'applique, à l'échelon de la région, au facteur "intensité d'exploitation", qui diffère d'une exploitation à l'autre, mais permet néanmoins de définir un certain niveau général caractéristique de la région.

4.22 Relation entre les densités de charge de différentes variétés

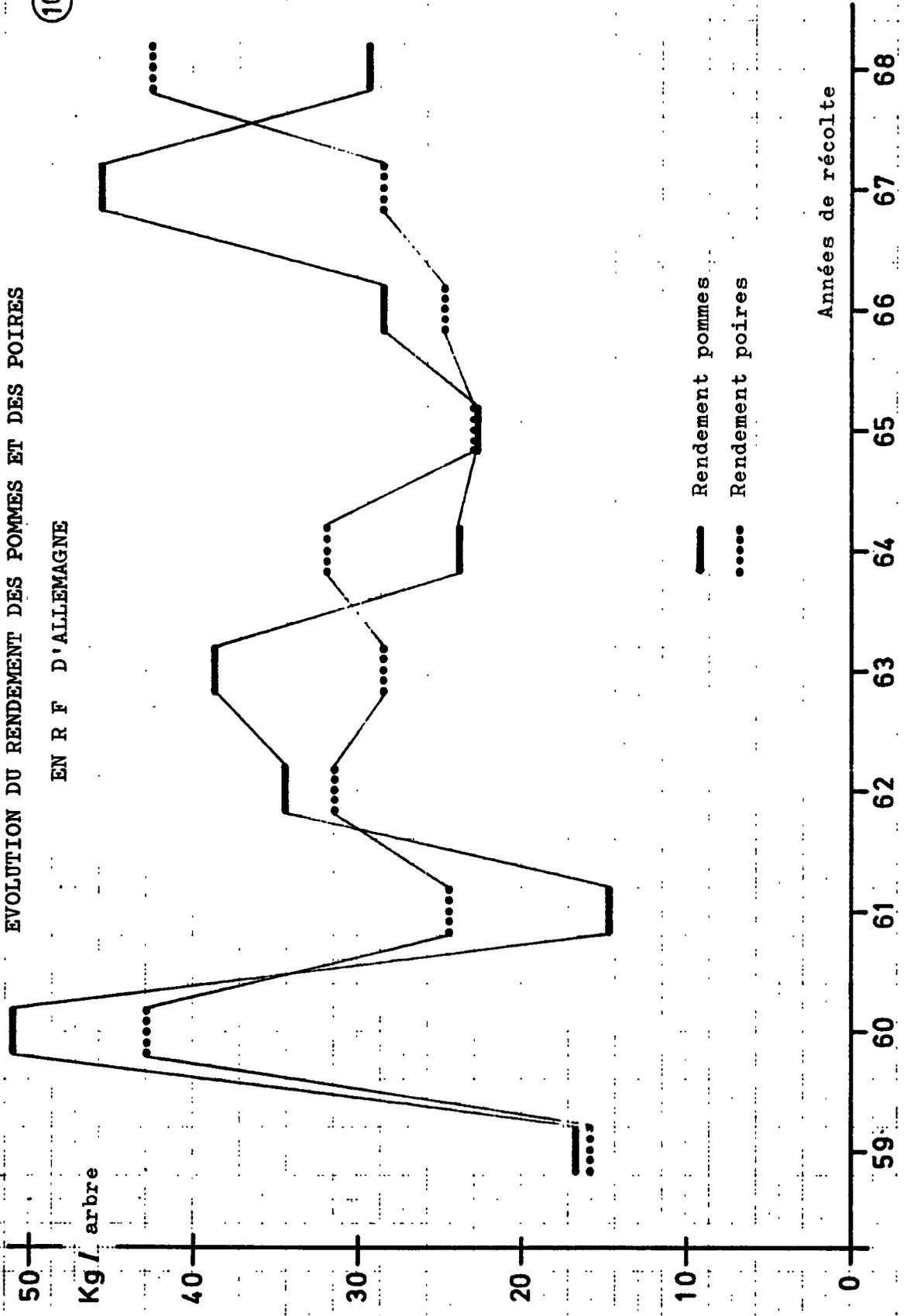
Ne datant que de quelques années, les recherches sur la densité de charge ne sont pas encore suffisamment complètes pour permettre de vérifier mathématiquement la corrélation entre les densités de charge annuelles d'une variété A et d'une variété B. Néanmoins, on peut affirmer qu'il existe une certaine relation, car les années de bonne et de mauvaise récolte de l'ensemble des variétés d'un même type de fruits sont sensiblement plus fréquentes qu'on ne pourrait s'y attendre dans le cas d'une dispersion purement aléatoire. Si l'on compare en revanche les poires et les pommes, la corrélation est sensiblement moins manifeste (figure 10). Toutefois, on peut se demander si même pour les différentes variétés d'un type de fruit

donné la corrélation est suffisante pour permettre de déduire les densités de charge d'une variété A de celles d'une variété B. Les exemples de la figure 11 montrent que les résultats obtenus par cette méthode seraient passablement flous, car dans de nombreux cas, les densités de charge diffèrent significativement d'une variété à l'autre. Certaines variétés du même type et de la même région ont même parfois un comportement opposé d'une année à l'autre. Il importe donc de traiter les variétés commerciales relativement peu nombreuses de chaque région comme des univers séparés. En ce qui concerne les cultures fruitières morcelées, où les variétés sont multiples et où un calcul propre à chaque variété irréalisable en soi, n'est pas exigé pour les besoins du marché, on pourrait envisager une certaine synthèse à condition de s'accommoder d'une plus grande dispersion et d'un échantillonnage nécessairement plus grand.

4.23 Relation entre les densités de charge de différents arbres de la même variété

L'échantillonnage des densités de charge pour une variété serait particulièrement compliqué si l'on devait distinguer entre différents groupes d'âge. Aussi faut-il se demander si l'âge d'un arbre influence significativement la densité de la charge en fruits. Pour les très jeunes arbres, la réponse est certainement affirmative car nul n'ignore qu'une phase purement végétative précède l'entrée dans "l'âge productif". Mais dès l'instant où l'arbre a atteint sa phase reproductive, c'est toujours le bois de deux à trois ans qui, indépendamment de l'âge, constitue le principal élément formateur des boutons à fleurs. La situation de départ en matière de reproductivité est donc identique, quel que soit l'âge de l'arbre. Il est néanmoins possible de déceler certaines tendances dues à l'âge, comme par exemple le ralentissement de la croissance végétative après la 10ème année de végétation environ, ou la tendance croissante à une productivité périodique, approximativement à partir de la 8ème année. Malheureusement, on ne dispose pas encore de données qui permettraient de contrôler mathématiquement ces relations. Il n'est donc pas à exclure que même après l'entrée dans la phase

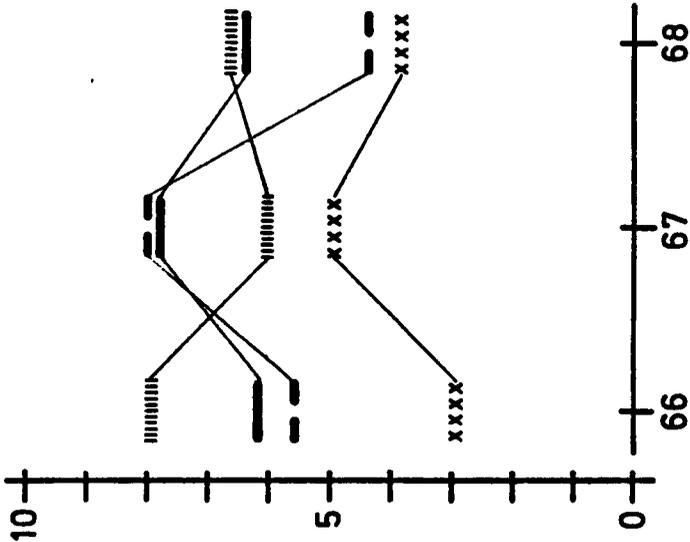
EVOLUTION DU RENDEMENT DES POMMES ET DES POIRES
 EN R F D'ALLEMAGNE



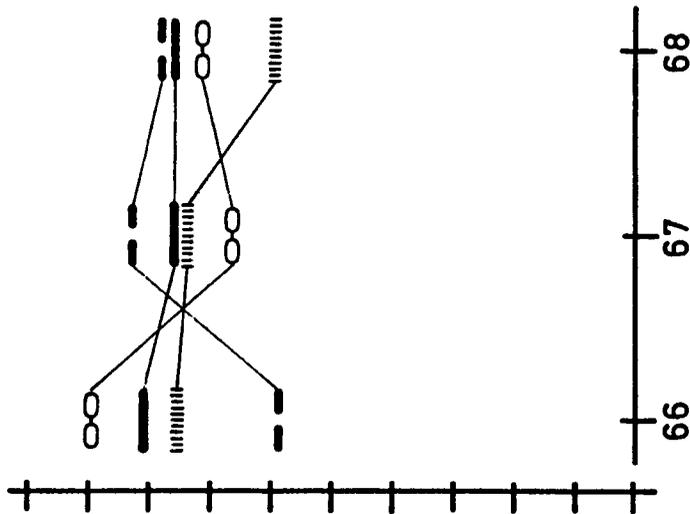
densité de charge EXEMPLES D'EVOLUTION DE LA DENSITE DE CHARGE DE DIFFERENTES VARIETES DE POMMES

11

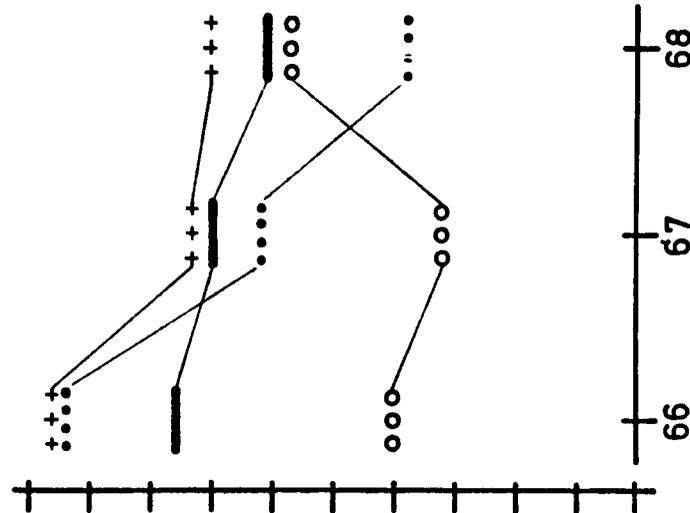
LAC DE CONSTANCE



RHENANIE



PAYS-BAS



Années de recensement

- Golden Delicious
- - - James Grieve
- . - Reine des reinettes
- xxxx Pomme cloche

- Golden Delicious
- ||||| James Grieve
- - - Reine des reinettes
- o-o Transparent blanche

- Golden Delicious
- +++ Jonathan
- Cox's Orange
- o-o Stark Earliest

généralive, les densités de charge ne manifestent certaines tendances en fonction de l'âge. Celles-ci, toutefois, ne sont certainement pas très marquées.

En revanche, il est nécessaire de traiter séparément dans les calculs de rendement les jeunes arbres qui n'ont pas encore atteint leur phase reproductrice ("âge productif"). Nous agissons ainsi dans le présent modèle en ne tenant pas compte du potentiel qu'ils représentent, et en les excluant de l'échantillonnage des densités de charge.

Selon la combinaison de greffe, la longueur de la phase purement végétative varie considérablement (KOBEL 1954). On doit donc la définir pour chaque variété et séparément pour chaque classe de croissance de porte-greffe. Le tableau 11 donne les années de végétation au cours desquelles débute en moyenne la phase reproductrice, années qui sont utilisées comme paramètre dans le modèle. Les valeurs indiquées sont des estimations et nécessitent une vérification mathématique, d'autant plus que les indications fournies à ce sujet dans la littérature spécialisée se limitent à des échelonnements relatifs.

Aucune différence due aux conditions écologiques n'ayant pu être décelée jusqu'ici, lesdites valeurs seront provisoirement utilisées indistinctement pour toutes les régions de culture.

Il est évident que dans la réalité, le passage à la phase reproductrice n'est généralement pas nettement marqué. Mais cela n'a pas d'importance pour le calcul statistique.

4.24 Conclusions

En conclusion de ce qui précède, les univers-échantillons doivent répondre aux conditions fondamentales suivantes:

1. Du point de vue de l'écologie et de la technique culturale :

Les disparités régionales, notamment en ce qui concerne les conditions météorologiques, le développement phénologique des plantes, la fertilité du sol, les usages et les degrés d'intensité de la culture et de l'exploitation, exigent que l'on distingue des "aires de culture écologiques" et qu'on utilise éventuellement à l'intérieur de celles-ci un procédé d'échan-

Tableau 11:

Coefficients propres à la croissance végétative des différentes variétés (W_B) et âge moyen d'entrée dans la phase générative.

Variétés de pommes	Croissance végétative relative	Année de végétation au cours de laquelle débute en moyenne la production sur des porte-greffes à croissance		
		faible	moyenne	forte
Abondance	1.00	2	3	3
Golden Delicious	1.00	2	3	3
James Grieve	0.75	2	3	4
Oldenburg	0.80	2	3	4
Transparent blanche	0.75	2	3	4
Reinette de Champagne	0.80	3	4	5
Cox's Orange	1.05	3	4	5
Démocrate	1.00	3	4	5
Pomme cloche	1.15	3	4	5
Reine des reinettes	1.00	3	4	5
Jonathan	1.00	3	4	5
Lomb. Calvill	1.00	3	4	5
Mac Intosh	1.00	3	4	5
Rome beauty	0.80	3	4	5
Mutsu	1.00	3	4	5
Winesap	1.00	3	4	5
Berlepsch	1.40	4	5	6
Belle de Boskoop	1.45	4	5	6
Gravensteiner	1.45	4	5	6
Kalterer Böhmer	1.40	4	5	6
Laxton Superb	1.30	4	5	6
Red Delicious	1.15	4	5	6
St. Earliest	1.40	4	5	6
<u>Variétés de poires</u>				
Bonne Louise	0.80	3	4	5
Clapps Favorite	0.75	3	4	5
Conférence	0.80	3	4	5
Précoce de Trévoux	0.75	3	4	5
Abbé Fétel	0.80	3	4	6
Léglipont	0.75	4	5	6
Clairgeau	0.70	4	5	6
Herz. Elsa	0.80	4	5	6
Jules Gujot	0.80	4	5	6
Triomphe de Vienne	0.80	4	5	6
Bon Chretien William	0.80	4	5	6
Alexandrine Douill	0.80	4	5	7
Passe Crassane	0.75	4	5	7
Alex. Lucas	0.75	5	6	7
Doyenné du Comice	0.80	5	6	7
Grand Alexandre	0.90	5	6	7
Beurré Hardy	1.00	6	7	8

tillonnage stratifié. Toute application à grande échelle d'un tel procédé d'échantillonnage doit donc être précédée d'une subdivision des régions expérimentales en fonction des critères considérés (et non pas par exemple uniquement en fonction des unités administratives).

2. Seul un échantillon tiré pour chaque variété permet un calcul du rendement variété par variété. Quoi qu'il en soit, lorsque les variétés sont multiples (arboriculture disséminée), on peut opérer en se basant sur des effectifs d'arbres globaux par type de fruit, à condition d'accepter de plus grandes dispersions et d'utiliser des échantillons plus importants. Mais même dans ce cas, il faut éviter de traiter en même temps les pommes et les poires, dont le rendement n'est nullement convergent, même s'il s'agit de fruits destinés à la transformation.
3. On suppose que des arbres d'âge différent de la même variété représentent statistiquement un seul univers. Néanmoins, les jeunes arbres n'ayant pas encore atteint la phase reproductive (voir tableau 11) sont exclus de tous les calculs.

4.3 Echantillonnage des densités de charge

L'échantillonnage des densités de charge étant destiné à fournir chaque année, aussi rapidement que possible, des informations sur la nouaison, laquelle varie considérablement d'un cas à l'autre, l'organisation correcte de cette opération revêt une importance particulière. Une caractéristique essentielle de cette méthode est que les experts ne sont pas obligés, par exemple, de fournir dès ce recensement à terme fixe une estimation du rendement, mais peuvent se concentrer entièrement sur le critère "densité de charge".

L'élément d'échantillonnage est la surface de comptage (60 x 60 cm) sur l'arbre. Les fruits n'étant généralement pas répartis régulièrement sur la surface extérieure de la couronne, le recensement s'écartera plus ou moins selon le cas de la valeur moyenne par arbre. Les dispersions rencontrées dans ce cas figurent au tableau 12.

Tableau 12:

Régularité de la charge en fruits sur l'arbre:

Valeurs moyennes des dispersions pour 10 surfaces de comptage sélectionnées au hasard

a) Données globales

Variété	Nombre d'arbres examinés	Dispersion moyenne des comptages individuels par arbre	
		s	s %
Golden Delicious	37	3.0	33.9
Jonathan	7	3.5	35.8
Boskoop	12	3.4	57.9
Gravensteiner	5	4.2	44.4
Reine des reinettes	5	4.2	46.4
Cox's Orange	15	5.0	62.6

b) réparties par densités de charge forte et faible

Variété et charge	Nombre d'arbres examinés	Dispersion moyenne des comptages individuels par arbre	
		s	s %
Golden Delicious			
Charge < 10	12	2.6	50.4
Charge \geq 10	25	3.2	25.0
Cox's Orange			
Charge < 10	5	5.1	110.1
Charge \geq 10	10	4.9	38.8

Pour estimer la charge d'un arbre individuel, il faut au moins un échantillon de 10 comptages superficiels. La régularité de la charge diffère d'une variété à l'autre. Comme le montre le tableau 12, la dispersion est particulièrement forte pour Cox's Orange. Le coefficient de variation est extrêmement élevé dans ce cas lorsque la charge est faible (figure 12 b). Cette tendance de la charge à

se répartir irrégulièrement en forme de grappes constitue un désavantage de cette variété quant à la détermination de la charge.

Pour de très petits arbres, il est absurde d'utiliser ce procédé. Autant dénombrer immédiatement le nombre global de fruits. Si l'on désire néanmoins connaître la densité de charge moyenne, celle-ci peut se calculer d'après la classe d'arbre et le nombre global de fruits, selon la formule

$$D = \frac{n_f}{10 \cdot k}$$

Cette détermination indirecte de la densité de charge constitue d'ailleurs aussi un bon moyen pour les débutants de se familiariser avec la méthode, et d'affiner leur sens d'appréciation visuelle des densités de charge. D'autre part, elle devrait permettre de calculer avec exactitude la densité de charge lors d'expériences scientifiques (d'éclaircissement, par exemple), d'autant plus que généralement, dans de tels cas, on détermine de toute manière le nombre de fruits.

Cette méthode des densités de charge n'offre tous ses avantages qu'avec des arbres dont la classe k est supérieure à 3 et, notamment, pour l'estimation de la charge d'univers plus importants comme les parcelles, les quartiers, les exploitations ou les régions de culture.

Lorsque l'univers est constitué par un grand nombre d'arbres, on peut se demander si les surfaces de comptage individuelles doivent effectivement être considérées comme éléments d'échantillonnage ou si les extrapolations doivent porter sur des éléments d'échantillonnage nouveaux, constitués par les densités de charge moyennes relevées sur place sur des arbres ou même sur des parcelles entières.

Les considérations suivantes plaident pour la conservation de l'arbre individuel comme élément d'échantillonnage:

Comme nous le verrons encore, la densité de charge influe dans une plus ou moins large mesure sur le poids moyen des fruits. A chaque arbre est donc dévolu un certain poids moyen de fruits correspondant

à sa densité de charge. SILBEREISEN (1969, sous presse) a pu démontrer que l'arbre est capable de compenser certaines irrégularités partielles dans sa densité de charge par des transferts correspondants de substances d'assimilation, c'est-à-dire que les poids moyens des fruits d'un arbre A, ayant une charge irrégulière de densité D, et d'un arbre B, ayant une charge très régulière de même densité D, ne diffèrent pas significativement, alors que tel est le cas pour les poids moyens des fruits de deux arbres de densité de charge différente.

Il en résulte que les dispersions de densité de charge constatées pour un même arbre sont sans importance pour l'extrapolation. Toutefois, pour pouvoir calculer avec exactitude le poids moyen pondéré des fruits dans des univers composés d'arbres différemment chargés, il faut connaître la dispersion entre les différents arbres. Et si l'on établissait des valeurs moyennes parcellaires, cette condition ne serait pas remplie, dès le stade des enquêtes sur le terrain.

Cela étant, et compte tenu d'un certain nombre d'aspects pratiques, comme par exemple le fait qu'un arbre peut être mieux défini qu'une certaine partie de cet arbre, l'arbre individuel s'impose comme élément d'échantillonnage.

4.31 Sélection des arbres-échantillons

Depuis un certain temps, ce problème fait l'objet de discussions avec des experts de différentes régions de culture. Que l'univers à étudier soit une parcelle ou une exploitation, la sélection aléatoire des arbres-échantillons, le cas échéant sous forme d'une stratification par parcelles ou quartiers de culture, ne soulèvera aucun problème particulier. Dans le cas de régions de culture entières, néanmoins, il y aura une certaine difficulté à maintenir les dépenses techniques d'organisation de l'échantillonnage dans des limites acceptables. Le procédé approprié devra varier d'une région à l'autre selon la structure des cultures. Il convient dans ce cas de tenir compte en particulier des deux critères suivants:

- degré d'homogénéité de l'arboriculture fruitière dans la région
- ampleur du remembrement parcellaire ou de la division en parcelles au niveau des exploitations.

En prenant en considération les aspects extrêmes de ces deux critères, on obtient les quatre possibilités de combinaison suivantes:

- 1.1 Arboriculture homogène - exploitations parcellaires
- 1.2 Arboriculture homogène - exploitations remembrées
- 2.1 Arboriculture disséminée - exploitations parcellaires
- 2.2 Arboriculture disséminée - exploitations remembrées

En ce qui concerne la combinaison 1.1, il serait vain de déterminer les arbres-échantillons exploitation par exploitation. Le temps nécessaire à la découverte du propriétaire, à la recherche de ses parcelles et enfin à la sélection des échantillons serait très disproportionné par rapport au résultat obtenu, alors que d'autres possibilités d'information se trouvent pour ainsi dire à chaque détour de la route.

En revanche, dans le cas de la combinaison 2.2, l'exploitation peut servir de strate pour l'échantillon. Une fois trouvée une exploitation fruitière relativement isolée, on devrait pouvoir y recueillir le maximum d'éléments nécessaires à l'établissement d'un échantillon représentatif.

En fait, toutes les combinaisons imaginables des critères précités se rencontrent effectivement dans les principales régions de culture d'Europe, ce qui implique que le procédé d'échantillonnage devra être modifié d'un cas à l'autre. Les modalités retenues jusqu'ici par l'auteur dans chaque région pour l'application expérimentale de la méthode des densités de charge ne pouvaient avoir qu'un caractère provisoire et devront faire place ultérieurement à des plans d'échantillonnage clairement définis. La discussion de ces plans ou projets de plans, dépasserait le cadre du présent travail, ainsi que la compétence et l'expérience de l'auteur, et doit donc être réservée à des discussions avec des spécialistes. Il conviendrait

d'examiner à cette occasion dans quelle mesure il serait possible d'exploiter systématiquement la "méthode à travers champs", appliquée avec succès par l'auteur dans un certain nombre de régions de culture, c'est-à-dire l'appréciation d'arbres individuels choisis au hasard dans toutes les parcelles fruitières situées le long d'un itinéraire aléatoire.

4.32 Homogénéité et ampleur de l'échantillon de densité de charge

Pour vérifier l'homogénéité d'échantillons de densité de charge de différentes régions de culture, nous nous sommes inspirés des travaux de GEIDEL (1956, 1958) et avons déterminé, pour une partie des données expérimentales, un certain nombre de valeurs moyennes mobiles et successives, selon l'ordre fourni par l'itinéraire à travers champ. La représentation graphique de ces moyennes fournit un certain nombre d'indices quant à l'homogénéité de l'univers. Les exemples de la figure 12 a font apparaître des perturbations de l'univers dues à certaines différences écologiques. Les exemples de la figure 12 b montrent au contraire l'image typique d'une mosaïque très morcelée sur le plan de l'écologie et de la technique culturale.

Les mêmes données ont en outre servi au calcul de moyennes successives (figure 13 a et b). On voit que dans les exemples comportant une dispersion en mosaïque des éléments de l'échantillon, la moyenne est stabilisée après 40 à 50 valeurs individuelles (figure 13 b), alors que dans le cas d'univers hétérogènes, d'importants décalages de la moyenne se manifestent encore après ce chiffre.

On peut en tirer cette conclusion, capitale quant à la taille de l'échantillon, que 40 à 50 observations individuelles par variété fournissent une base d'appréciation valable, à condition qu'un soin suffisant ait été apporté à la différenciation lors de la répartition en univers (aires de culture écologiques).

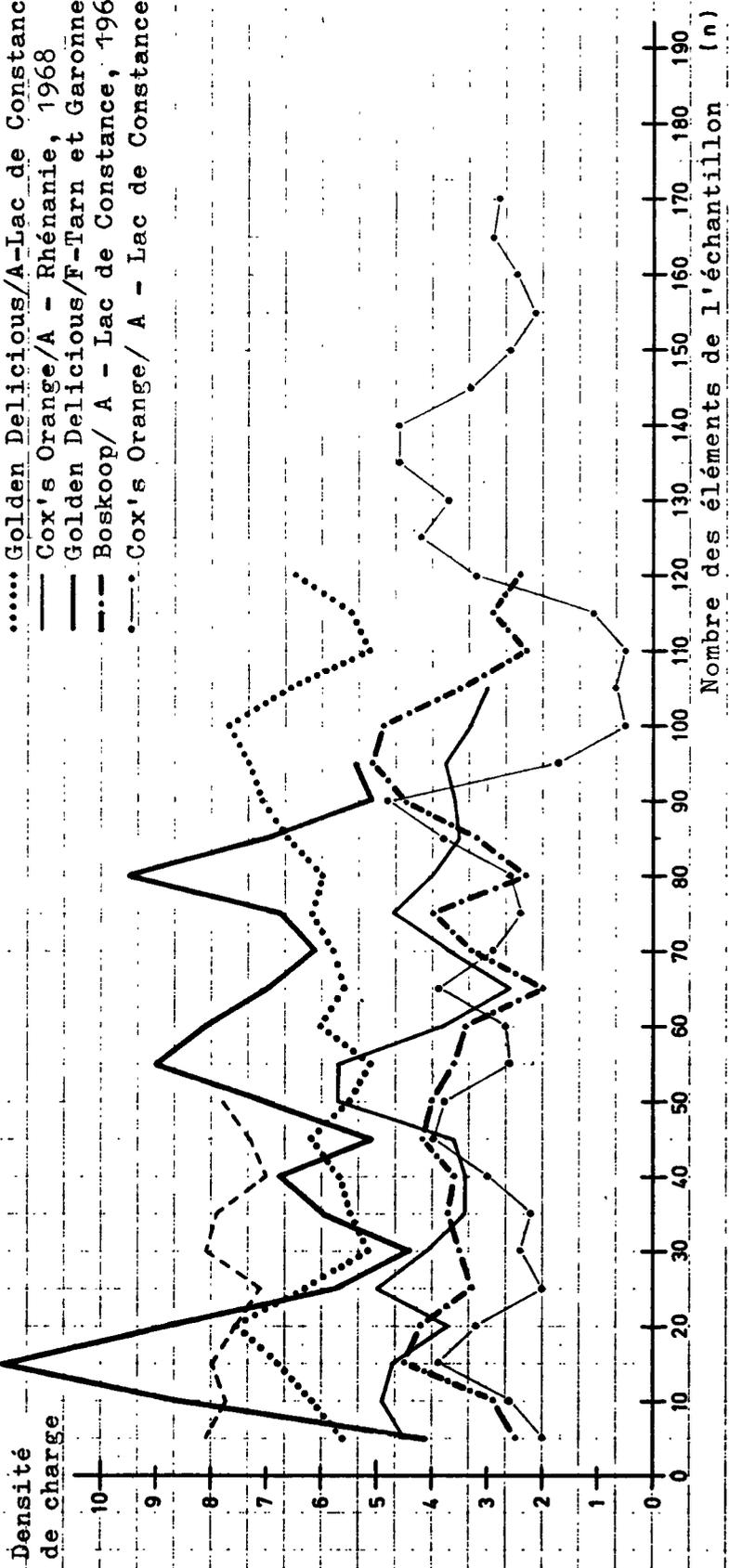
(Exemple 1)

Densités de charge, moyennes mobiles

Degré = 10.n

Pas = 5.n

- - - Jonathan/I - Prov. de Bolzano, 1968
- Golden Delicious/A - Lac de Constance, 1966
- Cox's Orange/A - Rhénanie, 1968
- Golden Delicious/F-Tarn et Garonne, 1968
- · - · Boskoop/ A - Lac de Constance, 1968
- · - · Cox's Orange/ A - Lac de Constance, 1968



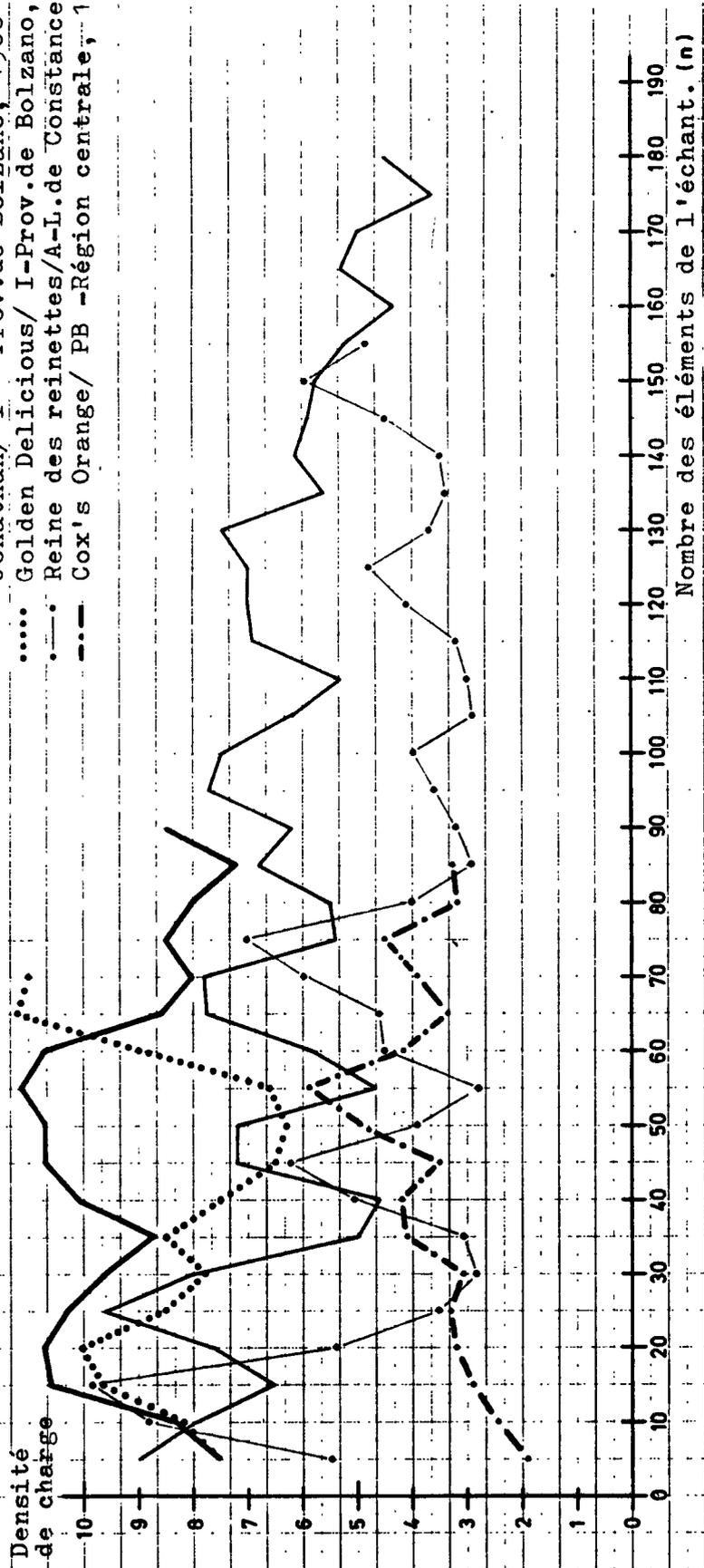
Nombre des éléments de l'échantillon (n)

Densités de charge moyennes mobiles (Exemple 2) 12
b

Degré = 10 n

Pas = 5 n

- Golden Delicious/ A-Lac de Constance, 1968
- Jonathan/ I - Prov. de Bolzano, 1966
- Golden Delicious/ I-Prov. de Bolzano, 1966
- Reine des reinettes/A-L. de Constance, 1968
- - - Cox's Orange/ PB -Région centrale, 1966



Nombre des éléments de l'échant. (n)

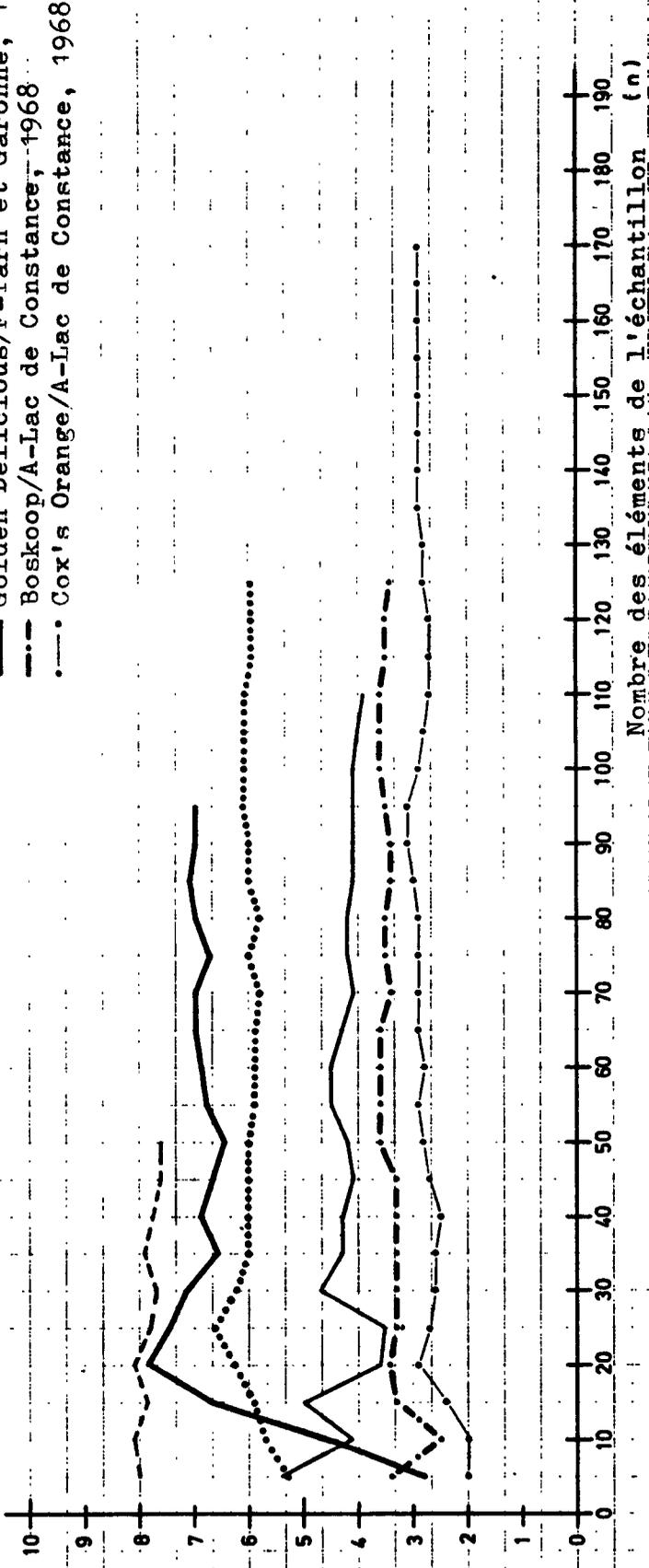
(Exemple 1)

Densités de charge, moyennes successives

Pas = 5 n

- - - Jonathan/I - Prov. de Bolzano, 1968
- Golden Delicious/A-Lac de Constance, 1966
- Cox's Orange/A - Rhénanie, 1968
- Golden Delicious/F-Tarn et Garonne, 1968
- - - Boskoop/A-Lac de Constance, 1968
- Cox's Orange/A-Lac de Constance, 1968

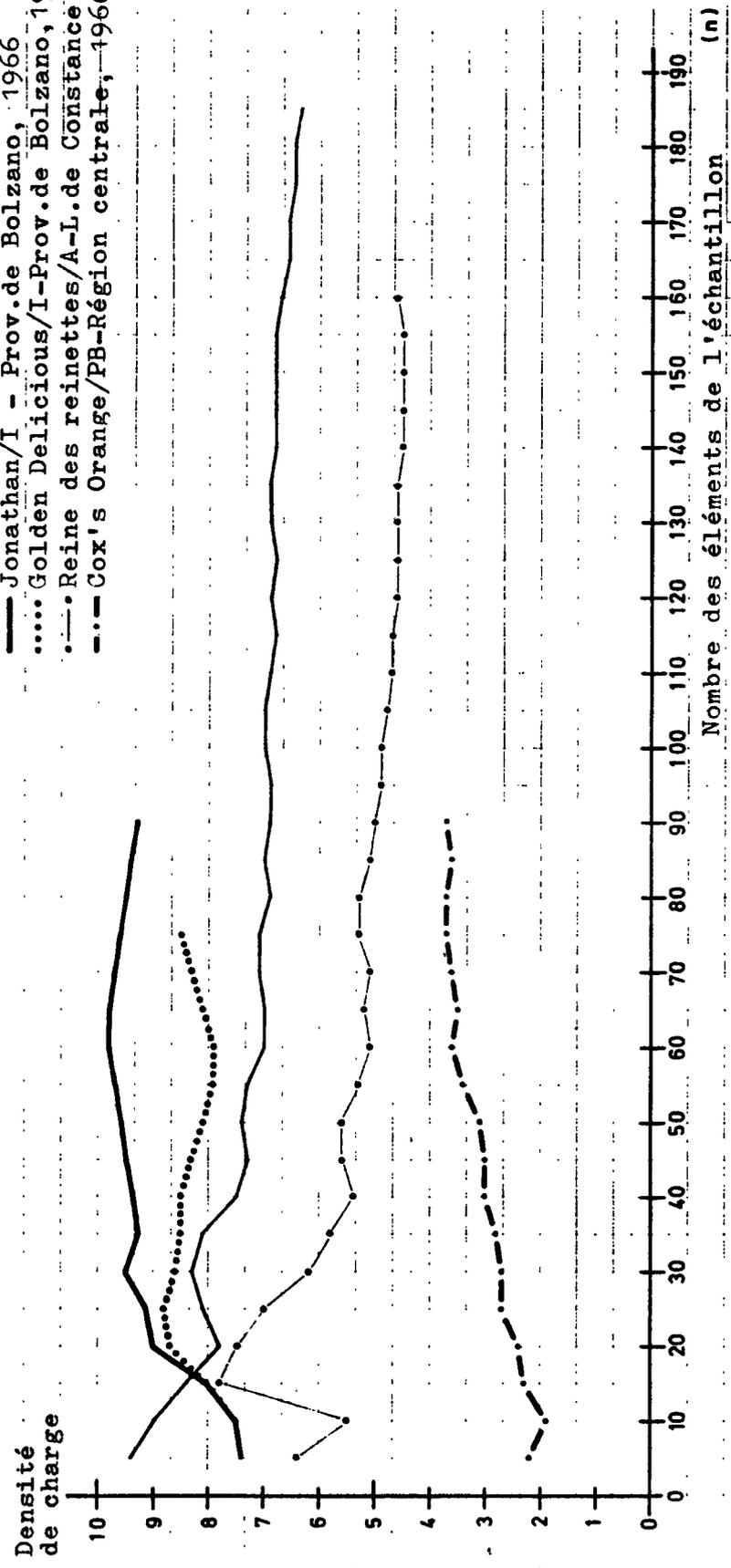
Densité de charge



Densités de charge, moyennes successives
(Exemple 2)

Pas = 5 n

- Golden Delicieux/A-Lac de Constance, 1968
- Jonathan/I - Prov. de Bolzano, 1966
- Golden Delicieux/I-Prov. de Bolzano, 1966
- Reine des reinettes/A-L. de Constance, 1968
- .-.- Cox's Orange/PB-Région centrale, 1966



D'autre part, on sait que l'intervalle de confiance de grandeurs déterminées par sondage dépend aussi essentiellement de la dispersion. Le tableau 13 fournit un aperçu des dispersions probables et des différences qu'elles peuvent présenter d'un cas à l'autre.

Pour mieux comprendre l'évolution des densités de charge, il est intéressant de savoir si les échantillons présentent une distribution normale. C'est généralement le cas dès l'instant où la densité nulle est rare (figure 14 a). Pour des valeurs moyennes faibles, on pourrait s'attendre à passer à une distribution de Poisson. Toutefois, les cas étudiés présentent ou bien des dispersions trop élevées ou bien un nombre comparativement trop élevé de densités nulles. Cette observation ne devrait pas surprendre les physiologues.

Souvent, en effet, une absence de nouaison se produit du fait de l'alternance. PFEFFER (1967) a démontré qu'il est rare que tous les arbres d'un même effectif aient le même rythme d'alternance. Il est évident que de tels déphasages peuvent également s'observer dans des plantations entières. Les répartitions à double sommet (Cox Orange, figure 14 b) traduisent ce phénomène.

Une autre répartition à double sommet, mais d'un niveau global supérieur, apparaît à la figure 14 c. Elle semble être imputable à d'autres causes, à savoir aux conditions écologiques, qui sont différentes dans le fond des vallées et sur les coteaux et exigent en principe des échantillons séparés.

Ces exemples ne revêtent pas seulement un intérêt quant à l'organisation du sondage, ils illustrent aussi les possibilités d'exploitation de telles données d'un point de vue écologique et physiologique.

REPARTITION DES ECHANTILLONS DE DENSITE DE CHARGE

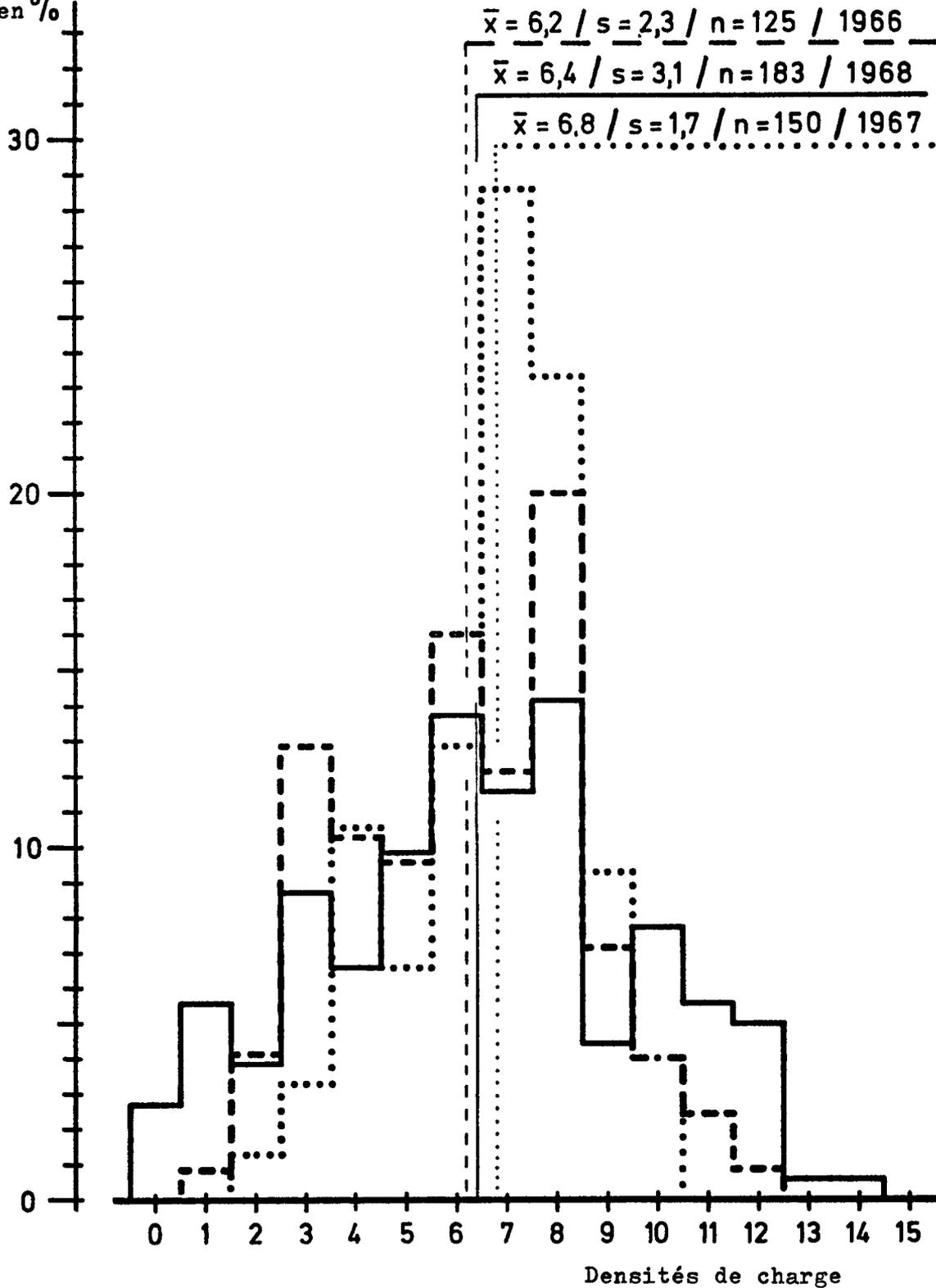
LAC DE CONSTANCE

Golden Delicious

14
a

Nombre
d'estimations

en %



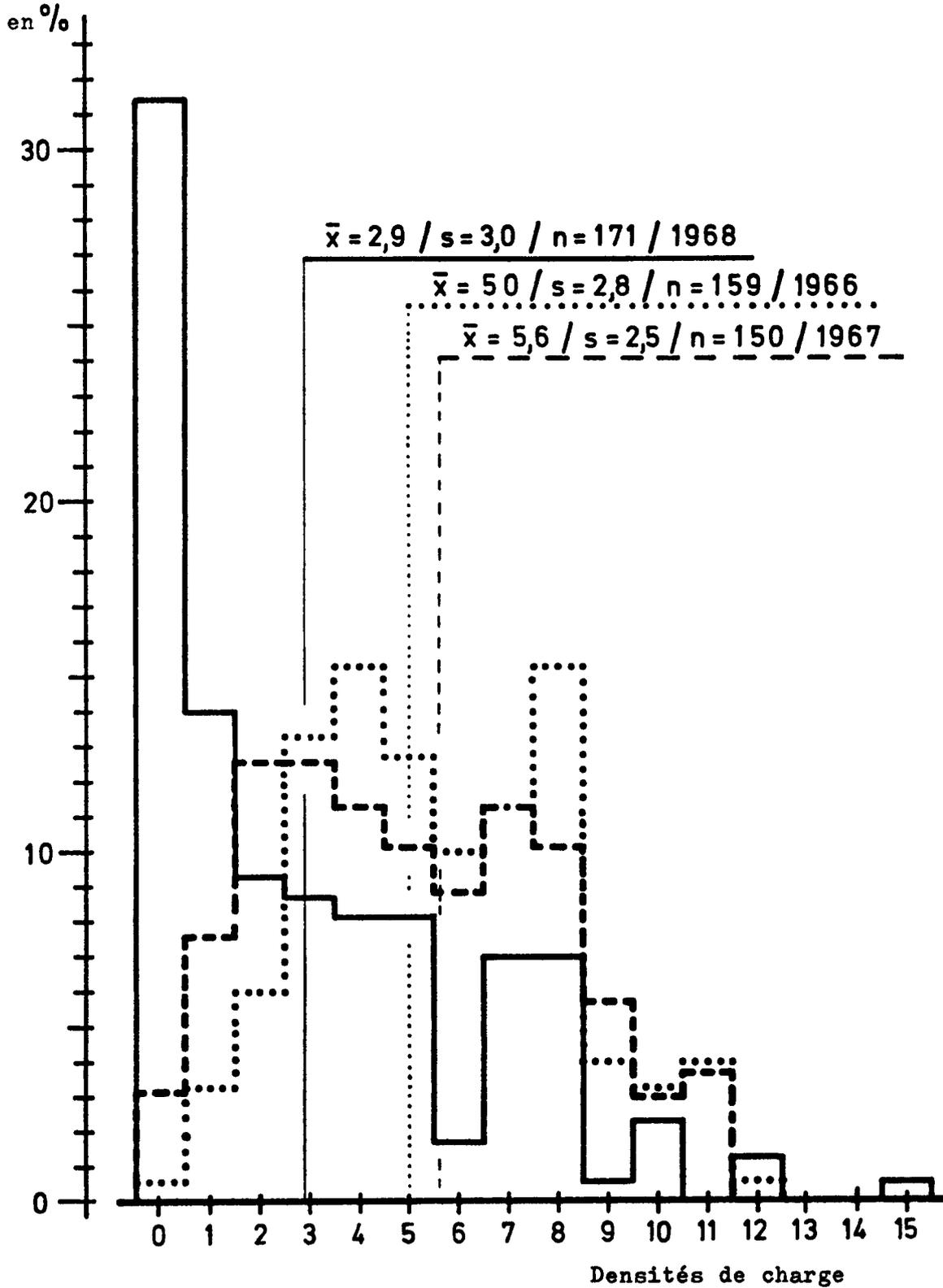
REPARTITION DES ECHANTILLONS DE DENSITE DE CHARGE

LAC DE CONSTANCE

14
b

Nombre
d'estimations
en %

Cox's Orange



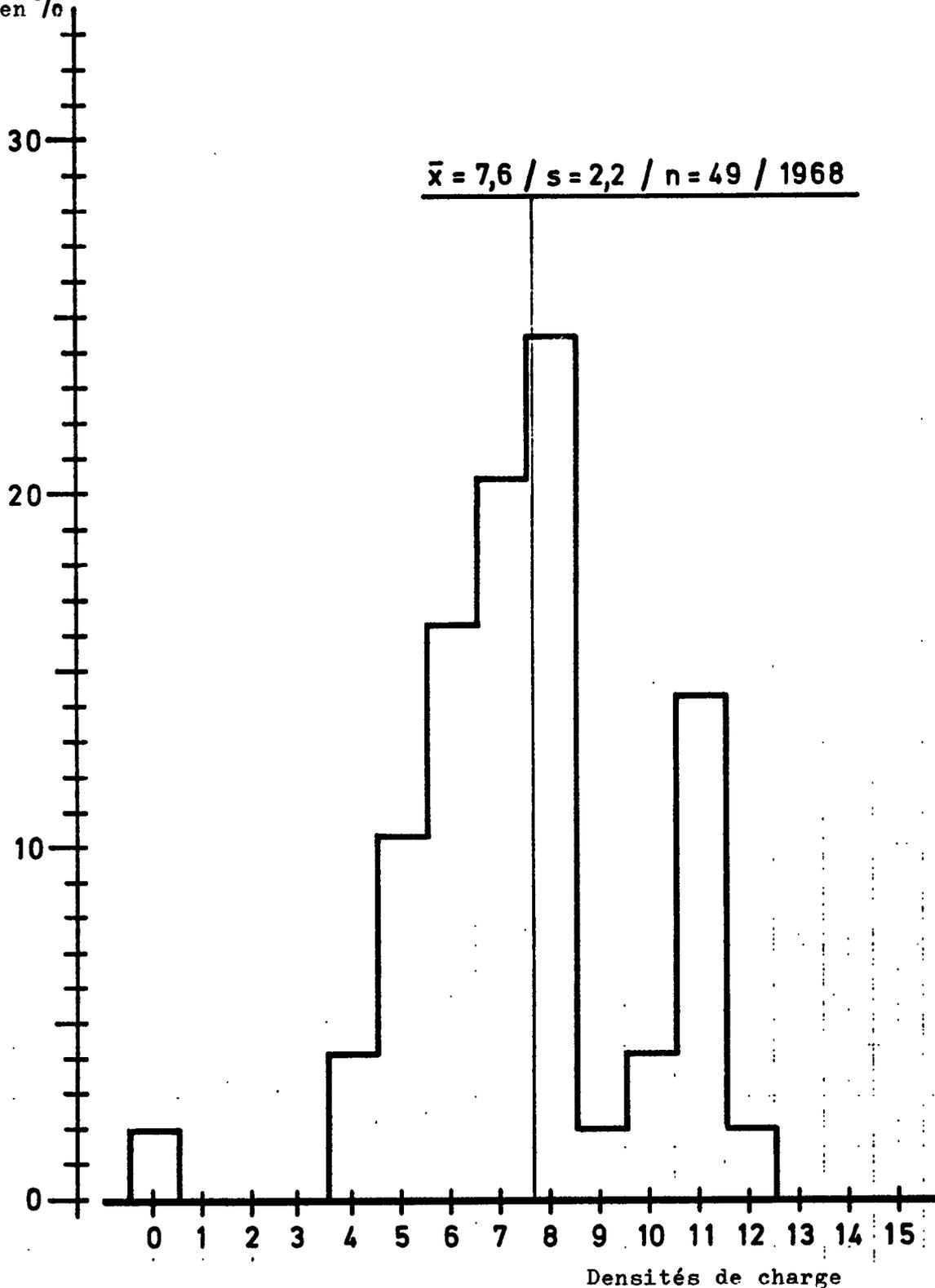
REPARTITION DES ECHANTILLONS DE DENSITE DE CHARGE

ITALIE / PROVINCE DE BOLZANO

14
c

Golden Delicious

Nombre
d'estimations
en %



Résumé II,4

La densité de charge en fruits annuelle étant fortement tributaire des influences climatiques à court terme, notamment pendant la floraison, elle n'est pratiquement pas prévisible. Aussi les prévisions potentielles sont-elles fondées sur des hypothèses "normales" quant à la variété et à la région ainsi que sur des variantes pessimistes et optimistes. En ce qui concerne la prévision courante, il faut attendre la nouaison définitive - après les chutes de juin - avant de déterminer les densités de charge en fruits moyennes, par un sondage variété par variété. L'élément d'échantillonnage est l'arbre individuel, l'univers représentant une variété dans une aire de culture écologique. On suppose que la taille et l'âge de l'arbre n'influent pas sur la densité de charge, abstraction faite de la phase purement végétative du jeune arbre, laquelle a été définie pour chaque combinaison de greffe.

Les échantillons de densité de charge présentent dans une large mesure des répartitions normales. Mais de faibles valeurs moyennes font apparaître également des répartitions à double sommet, généralement imputables, semble-t-il, à des rythmes d'alternance différents.

Il ressort de l'exploitation graphique de valeurs moyennes successives, que l'échantillon devrait se composer d'approximativement 40 à 50 éléments.

5. Poids des fruits

5.1 Exposé du problème

Comme la classe d'arbre (potentiel - arbre), le poids des fruits est le résultat d'un processus de croissance qui varie, dans des limites génétiquement prédéterminées, en fonction de certaines influences environnementales. A la différence du développement des arbres, la croissance des fruits s'inscrit du début à la fin dans une seule période de végétation. Aussi ne peut-on supposer ici, comme lorsqu'il s'agit des arbres, que les fluctuations annuelles de croissance dues aux conditions météorologiques n'affectent pas sensiblement dans l'ensemble le processus cumulatif de croissance, et que les écarts par rapport à la moyenne sont

largement compensés. Une autre différence est qu'ici, en définitive, seul le résultat final du processus de croissance, à savoir le poids des fruits à l'époque de la récolte, est intéressant. Les résultats intermédiaires n'importent qu'en regard à ce résultat final.

Le facteur de modification est ici la concurrence que se livrent les fruits d'un même arbre, concurrence qui a pour effet une corrélation négative entre la densité de charge et le poids des fruits. Cette relation a été étudiée et démontrée dans de nombreux travaux (HOHMANN 1965, LINK 1965, 1967, SILBEREISEN 1966, 1967, WERTHEIM 1967, PRESTON et QUINLAN 1968, QUINLAN et PRESTON 1968). Une de ses conséquences sur le plan pratique est l'éclaircissement artificiel des fruits.

La dispersion entre les poids des fruits récoltés sur un même arbre varie, mais est généralement considérable. Elle est notamment imputable à certains décalages chronologiques du début de la croissance (date de la fructification) (LUCKE 1959) ainsi qu'à la différence de valeur des points de croissance sur l'arbre (SCHADE 1968), mais ces causes n'ont jamais été clarifiées d'une manière exhaustive. D'autre part, même entre les poids moyens de fruits d'arbres apparemment comparables, il se présente aussi des dispersions, qui sont généralement restées sans explication jusqu'ici.

Quoi qu'il en soit, les difficultés rencontrées à l'échelon du fruit et de l'arbre individuel perdent de leur importance dès que l'on considère des univers suffisamment grands (à partir de la parcelle de fruits) .

La recherche de notions concrètes concernant les poids moyens des fruits des multiples variétés ainsi que leur corrélation avec différents facteurs modificateurs, s'est heurtée à des difficultés inattendues. Certes, la littérature spécialisée, notamment les dépouillements des résultats expérimentaux, contient souvent des indications sur le poids des fruits. Mais les données relatives aux facteurs de modification tels que la densité de charge, les influences environnementales (notamment les variations de température et l'hydraulique), l'âge et la taille des arbres, la topophysique, l'époque de la récolte, présentent généralement

des lacunes telles qu'elles ne permettent pas ou guère de formuler des conclusions générales.

Cela ne veut pas dire que nous ne disposions pas d'informations relativement valables concernant différentes composantes du poids des fruits et ce, grâce à certaines recherches spécialisées, notamment aux travaux récents de HILKENBÄUMER, HOHMANN, JACKSON, LINK, PRESTON, SCHADE, SCHUMACHER, SIL EREISEN, STENZ, WERTHEIM et, surtout, aux travaux instructifs de K. ROEMER. Toutefois, la complexité de la matière est illustrée par le fait qu'il n'a pas été tenté d'élaborer, à partir de résultats individuels, certaines normes générales caractéristiques de l'évolution du poids des fruits.

Il est étonnant également de constater l'imprécision des notions qu'ont les hommes du métier, même expérimentés, quant aux poids des fruits des différentes variétés. Aussi cette voie n'offrait-elle, elle non plus, aucune base valable pour l'établissement d'un modèle de calcul du poids des fruits.

Cela explique pourquoi nous avons dû effectuer personnellement de nombreuses mesures pour résoudre ce problème.

5.2 Modèle de calcul du poids des fruits

Conformément aux critères précédemment envisagés, les premiers paramètres à introduire dans le modèle sont les suivants:

- influence de la variété
- influence du porte-greffe
- complexe des influences environnementales
- influence de la densité de charge.

Examinons tout d'abord le comportement de différentes variétés pour diverses densités de charge:

De nombreux travaux, même parmi les plus anciens, font état de la relation densité de charge(D)/ poids moyen des fruits(G_m). Mais pratiquement, on n'a jamais calculé de corrélation mathématiquement définie, toute mesure objective de la densité de charge faisant défaut. Seule la relation entre le feuillage et les fruits, établie

parfois récemment, fournit des rapports quantitatifs. Une autre possibilité de déterminer indirectement la relation D/G_m est offerte lorsqu'on connaît le poids moyen et le nombre des fruits d'arbres de taille identique. A classe d'arbre constante en effet, la densité de charge correspond linéairement au nombre de fruits. L'auteur a pu effectuer une telle étude grâce notamment aux données détaillées qui lui ont été fournies par la "Proefstation voor de Fruitteelt in de volle Grond, Wilhelminadorp".

Au cours des dernières années, il a lui-même réuni des données relatives à ce problème, en déterminant directement les densités de charge de certains arbres ainsi que les poids moyens correspondants des fruits à la récolte. Les résultats, représentés graphiquement pour les différents exemples (figure 15 a - c), permettent de tirer les conclusions suivantes:

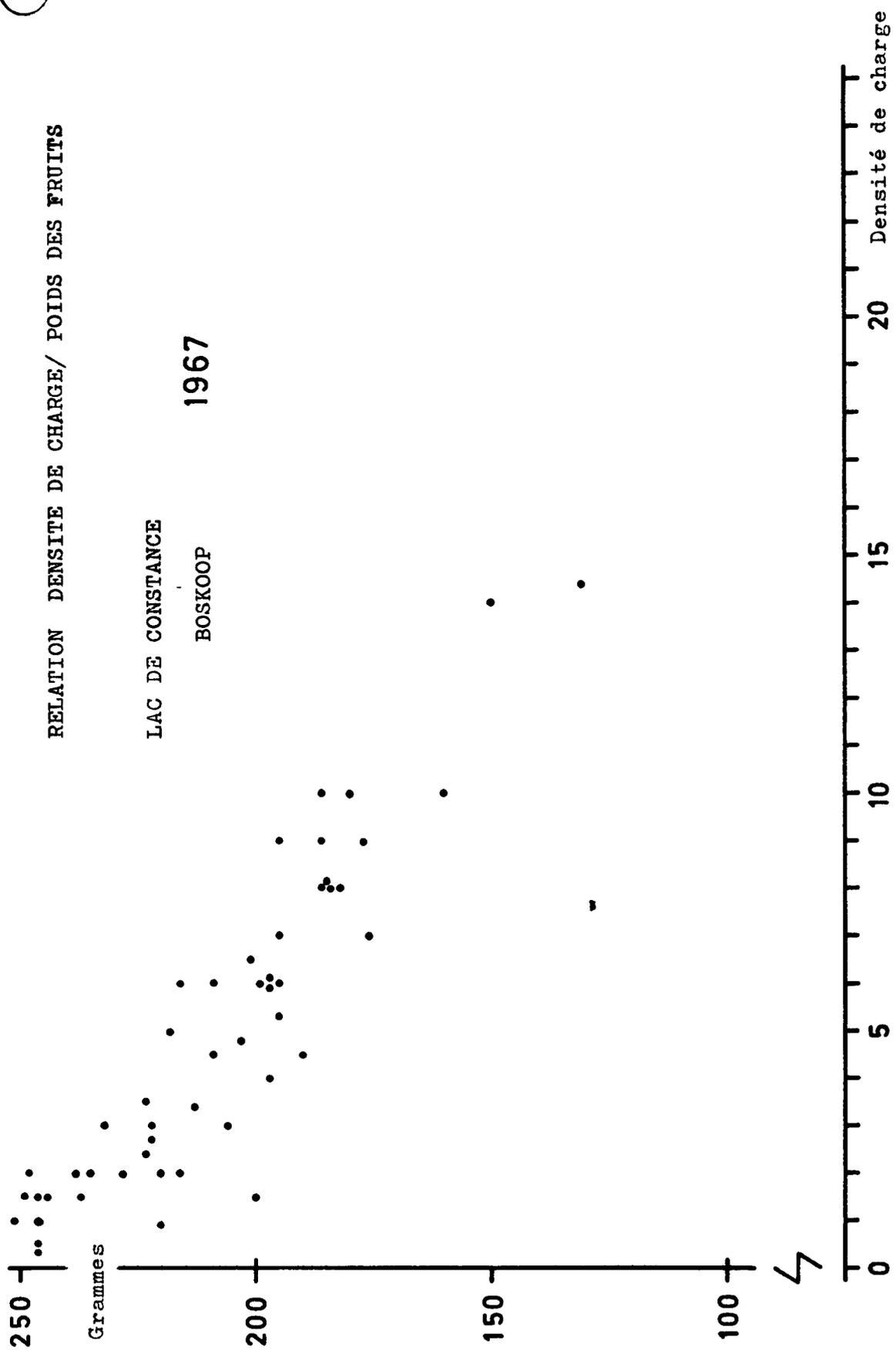
- La corrélation négative D/G_m est généralement significative et suffisamment nette pour ne pas pouvoir être négligée dans le modèle de prévision du rendement.
- Une dispersion résiduelle considérable ainsi que - pour certains exemples - des corrélations médiocres à très médiocres sont l'indice d'un certain nombre d'autres influences modificatrices qui n'ont pas encore été suffisamment mises en lumière.
- La régression D/G_m diffère d'une variété à l'autre. Les variétés à gros fruits, par exemple Boskoop, ont une tendance à présenter une corrélation plus marquée que les variétés à petits fruits (Cox's Orange).

Cette tendance s'explique physiologiquement: Lorsque la charge en fruits est dense, une variété génotypiquement capable de porter des fruits lourds atteint plus rapidement la limite de croissance physiologique nutritionnelle qu'une variété à petits fruits qui, inversement, en cas de faible charge, ne peut épuiser l'offre d'éléments nutritifs.

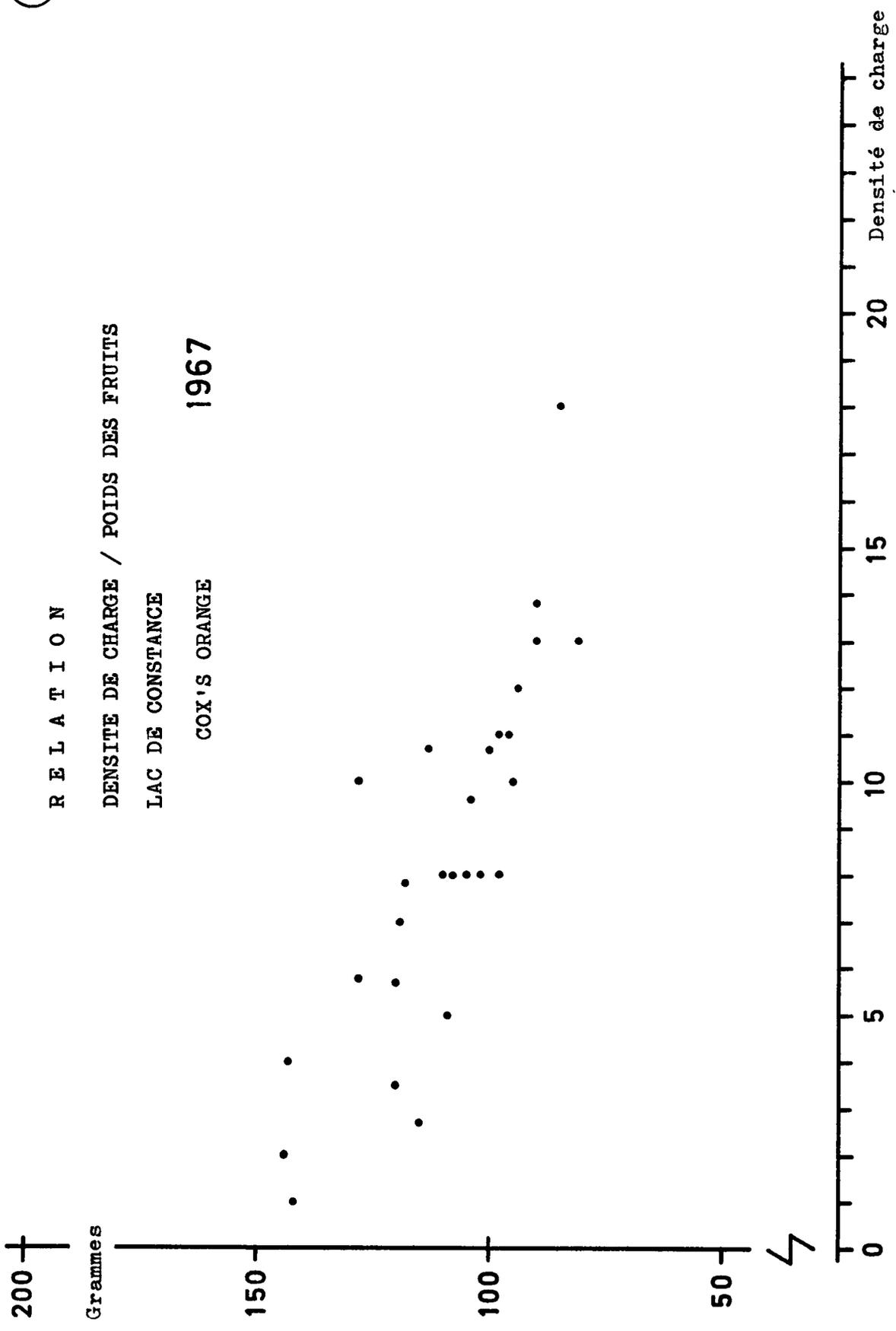
Cette hypothèse est, toutefois, en contradiction avec le comportement divergent de certaines variétés:

RELATION DENSITE DE CHARGE / POIDS DES FRUITS

LAC DE CONSTANCE
BOSKOOP
1967



R E L A T I O N
DENSITE DE CHARGE / POIDS DES FRUITS
LAC DE CONSTANCE
COX'S ORANGE
1967



Pour James Grieve et Jonathan, on n'a pu relever jusqu'ici aucune corrélation manifeste entre D et G_m . Pour Gravensteiner en revanche, variété très proche de James Grieve à densité de charge normale quant à la durée de croissance des fruits et au poids moyen des fruits, cette relation est très marquée.

Physiologiquement, il pourrait être intéressant d'étudier systématiquement les causes de ces relations.

- En définitive, les données disponibles font apparaître qu'il existe en général des différences considérables - bien connues dans la théorie et dans la pratique - dans le poids des fruits d'une variété à l'autre.

Pour pouvoir représenter valablement dans le modèle non seulement le poids des fruits proprement dit, mais aussi la corrélation D/G_m pour les différentes variétés, on définit pour chaque variété deux paramètres de poids, à savoir G_{max} et G_{min} . G_{max} indique la valeur vers laquelle tend le poids moyen des fruits lorsque la densité de charge se rapproche de 0, alors que G_{min} représente le minimum moyen vers lequel le poids se rapproche dans le cas d'une très forte densité de charge (figure 16 a).

On peut se demander s'il y a linéarité de la régression ou non. Une comparaison de la régression linéaire avec différentes formes de la fonction de croissance non linéaire

$$y = a \cdot \left(1 - \left(1 - e^{-cx} \right)^n \right)$$

n'a fait apparaître, il est vrai, aucun avantage significatif pour l'une des régressions non linéaires. Toutefois, certains exemples d'une densité de charge extrêmement élevée montrent que le poids des fruits ne tend pas par exemple vers 0, ni a fortiori vers des valeurs négatives, alors que tel devrait être théoriquement le cas dans l'hypothèse de la linéarité. Dans le cas de la variété Boskoop (figure 15 a), le point d'intersection de G et de D serait déjà atteint avec $D = 22$, densité de charge qui n'a jamais été approchée par cette variété au cours des dernières années, bien que pour Boskoop également, elle relève parfaitement dans certains cas particuliers du domaine des possibilités. On peut admettre avec certitude que même en présence d'une telle charge, les fruits Boskoop ne pèseraient pas sensiblement moins de 100 grammes. Aussi semble-t-il préférable, même si la preuve mathématique n'est pas

encore faite, de poser l'hypothèse de la non-linéarité et d'une approximation asymptotique à un G_{\min} . Si toutefois on opère avec la non-linéarité, on doit également tenir compte du fait que pour une densité très faible $D \ll 1$, l'effet de concurrence entre les fruits isolés peut diminuer dans une mesure telle que la fonction cesse de s'accroître. Ce phénomène est confirmé par les recherches de SILBEREISEN (1967) sur le rapport feuilles/fruits, cet auteur n'ayant plus relevé aucun accroissement de poids à partir d'un rapport supérieur à 100 : 1.

La fonction générale traduisant le mieux l'ensemble de ces conditions est la suivante:

$$G_m = G_{\min} + (G_{\max} - G_{\min}) \cdot \left[1 - (1 - e^{-cD})^n \right]$$

Comme celle relative à la croissance des arbres, cette fonction est complétée par un paramètre représentant l'ensemble des influences environnementales ($G_{\text{ök}}$) et un paramètre représentant l'influence du porte-greffe (G_u). Sous la forme

$$G = G_{\text{ök}} \cdot G_u \cdot \left[G_{\min} + (G_{\max} - G_{\min}) \cdot \left[1 - (1 - e^{-cD})^n \right] \right]$$

la fonction sert de base au calcul du poids des fruits pour la prévision potentielle. Un certain nombre d'exemples (figure 16 b) montre l'incidence de divers paramètres $G_{\text{ök}}$ et G_u sur une variété définie. Dans certains cas il faut y ajouter, pour la prévision courante, au cours de la période de végétation, un facteur de correction météorologique (G_{met}), dont nous parlerons ultérieurement.

Pour fournir aux lecteurs désireux d'utiliser le modèle un certain nombre de points de repères, nous avons réuni au tableau 14 les paramètres représentant provisoirement le poids des fruits de toutes les variétés prises en considération jusqu'ici pour l'application du modèle, pour des densités de charge allant jusqu'à 14. A noter que ces chiffres se rapportent à la région du Lac de Constance et doivent, pour les autres régions, être multipliés par des coefficients appropriés. Le tableau 7 (page 48) contient les paramètres de correction provisoires ($G_{\text{ök}}$).

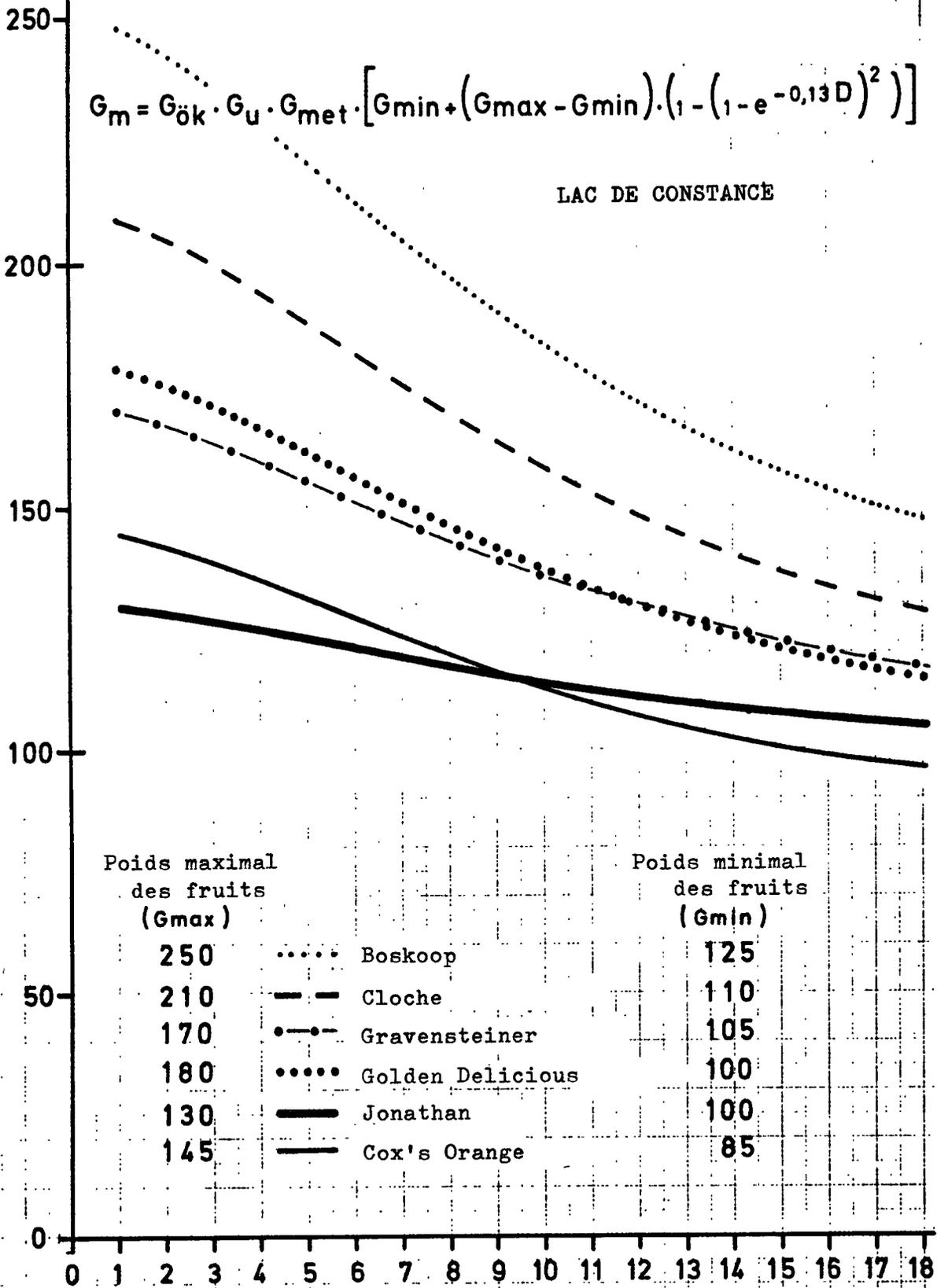
a

CORRELATION

16
a

Grammes

DENSITE DE CHARGE / POIDS MOYEN DES FRUITS



$$G_m = G_{ök} \cdot G_u \cdot G_{met} \cdot [G_{min} + (G_{max} - G_{min}) \cdot (1 - (1 - e^{-0,13D})^2)]$$

LAC DE CONSTANCE

Poids maximal des fruits (G _{max})		Poids minimal des fruits (G _{min})
250 Boskoop	125
210	----- Cloche	110
170	-.-.-.- Gravensteiner	105
180 Golden Delicious	100
130	———— Jonathan	100
145	———— Cox's Orange	85

Densité de charge

Tableau 14

Poids moyen standard des fruits en fonction de la charge, pour différentes densités de charge

Variétés de pommes	Paramètre de base		Poids des fruits en grammes pour la densité de charge:						
	G _{max}	G _{min}	2	4	6	8	10	12	14
Abondance	140	80	137	130	122	115	108	103	98
Berlepsch	160	90	156	148	139	131	123	116	111
Boskoop	250	125	243	229	213	198	184	172	162
Champagne	130	80	127	122	115	109	104	99	95
Cox's Orange	145	85	142	135	127	120	113	108	103
Démocrate	230	150	226	217	207	197	188	180	174
Cloche	210	110	205	194	181	168	157	148	140
Golden Delicious	180	100	176	167	156	147	138	130	124
Reine des reinettes	145	75	141	133	124	116	108	101	96
Gravensteiner	170	105	167	159	151	143	136	129	124
James Grieve	165	120	163	158	152	146	141	137	133
Jonathan	130	100	128	125	121	117	114	111	109
Kalterer	138	80	132	126	119	112	106	101	96
Laxton Sup.	230	125	224	213	199	186	174	164	156
Lomb. Calv.	195	105	190	180	169	157	147	139	132
Mac Intosh	160	90	156	148	139	131	123	116	111
Rome Beauty	230	150	226	217	207	197	188	180	174
Mutsu	220	130	215	205	194	182	172	164	157
Oldenburg	145	85	142	135	127	120	113	108	103
Red Delicious	190	130	187	180	172	165	158	153	148
St. Earliest	110	70	108	103	98	93	89	85	82
Transparente blanche	120	65	117	111	104	97	91	86	81
Winesap	200	120	196	187	177	167	158	150	144
<u>Variétés de poires</u>									
Abbé Fétel	220	140	216	207	197	187	178	170	164
Alex. Lucas	220	150	216	208	199	191	183	176	171
Beurré Hardy	200	120	196	187	177	167	158	150	144
Bonne Louise	170	110	167	160	152	145	138	133	128
Légipont	165	90	161	153	143	134	125	118	112
Clairgeau	180	100	176	167	157	147	138	130	124
Clapps Fav.	170	100	166	158	149	141	133	126	121
Conférence	180	100	176	167	157	147	138	130	124
J. Gujot	190	110	186	177	167	157	148	140	134
Grand Alexandre	190	100	185	175	164	152	142	134	127
Passe Crassane	220	120	215	204	191	178	167	158	150
Précoce de Trévoux	140	80	137	130	122	115	108	103	98
Triomphe de Vienne	230	130	225	216	201	188	177	168	160
Bon chrétien William	190	110	186	177	167	157	148	140	134

Comme il ressort de nos propres travaux, ainsi que des recherches effectuées par d'autres auteurs (HILKENBÄUMER 1964, KOBEL 1954, PRESTON 1967), que le poids moyen des fruits est sensiblement plus élevé sur M IX que sur les porte-greffes à croissance plus forte, nous avons tenu compte, pour M IX, d'un coefficient de correction de 1,05 (G_m), qui ne figure pas dans le tableau 14.

Nous essayons actuellement de définir une corrélation "taille d'arbre/poids des fruits" susceptible d'être introduite dans le modèle. Il est manifeste, en effet, que le poids moyen des fruits augmente progressivement au fur et à mesure que la taille de la couronne diminue, la progression n'étant toutefois sensible que pour des classes d'arbre inférieures à 3. Dans les plantations denses, dont il a beaucoup été discuté récemment et qui comportent des arbres très nombreux - mais aussi très petits - par unité de surface, cet effet, qui joue certainement aussi pour les premiers fruits, particulièrement gros, acquiert une véritable signification économique.

5.3 Méthodes d'enquête sur le poids des fruits

5.31 Méthodes directes

Pour déterminer directement le poids moyen des fruits récoltés en fonction de la charge, il faut connaître non seulement le site, la variété et le porte-greffe, mais aussi la densité de charge de l'arbre expérimental, le poids de la récolte et le nombre de fruits. Les échantillons de groupes d'arbres ne peuvent être directement exploités que lorsque la dispersion des densités de charge est négligeable. Alors que les arbres destinés à la mesure des densités de charge doivent être sélectionnés avant la récolte, le poids moyen des fruits ne peut être déterminé qu'après la récolte. Les opérations qui ne posent aucun problème dans les plantations expérimentales sont toutefois liées dans la pratique à des dépenses considérables, lorsque les échantillons sont dispersés. Aussi la quantité de données pouvant être obtenue de cette manière est-elle limitée.

D'autre part, la dispersion relativement élevée des valeurs exige une importante documentation. Aussi certains moyens ont-ils été recherchés pour augmenter, grâce à d'autres méthodes de recensement, les possibilités d'information sur le poids des fruits. Il n'en reste pas moins que la méthode consistant à réunir l'ensemble des données requises sur un arbre individuel, à l'aide d'un échantillonnage du poids, est la plus fiable, et doit donc être considérée comme "méthode standard".

Par "échantillon du poids d'entreposage", il faut entendre un échantillon du poids moyen des fruits tiré après la récolte parmi les fruits non triés, tels qu'ils ont été cueillis, soit dans l'entrepôt du producteur, soit à l'un de ses points de vente. L'élément d'échantillonnage est le contenu d'une caisse, généralement 15 - 20 kg. On pèse d'abord la caisse complète, puis on en tire les fruits en les comptant, et on déduit finalement le poids de la caisse. Lorsqu'on procède avec soin, les résultats de ce procédé sont irréprochables. Le problème réside dans le fait qu'on ne connaît pas et qu'on ne peut généralement plus reconstituer les propriétés de l'arbre. Il peut arriver que le contenu d'une caisse ne soit même pas représentatif d'un arbre donné mais provienne d'une partie de la couronne où les fruits se développent dans des conditions extrêmes. D'autre part, on ne peut pas être sûr qu'un triage préalable n'a pas déjà été effectué sur l'arbre. Enfin, si la récolte date de quelque temps, il faut tenir compte des pertes de poids, qui, toutefois, devraient constituer la source d'erreur la moins importante.

Lorsque la taille de l'échantillon est suffisante, les échantillons tirés des produits entreposés peuvent, avec les réserves précitées, fournir un certain nombre d'indices, mais ils ne peuvent guère davantage, d'autant plus que les dépenses de comptage sont considérables pour un échantillon de grande taille.

5.32 Méthodes indirectes

Alors que pour l'échantillonnage du poids des fruits sur les arbres individuels et dans les entrepôts, les poids moyens peuvent se calculer directement par division de la somme des poids par le nombre de fruits, nous allons expliquer à présent deux procédés indirects qui supposent, quant à eux, que la corrélation entre le poids et le diamètre des fruits soit suffisamment étroite pour qu'on détermine, non pas le poids, mais le diamètre des fruits.

Ce "détour" par le diamètre des fruits ouvre en effet les possibilités suivantes:

1. Le diamètre des fruits pouvant aussi être mesuré sur l'arbre, c'est-à-dire avant la récolte, on n'est pas obligé, lorsqu'on effectue des enquêtes sur les arbres individuels, d'être présent lors de la récolte - avec les difficultés d'organisation que cela implique dans la pratique - mais on peut réunir quelques jours avant la récolte toutes les informations requises, dans n'importe quelle plantation accessible de la région étudiée. Si le délai entre la mesure et la récolte est supérieur à quelques jours, la fonction de croissance des fruits (voir page 89 et figure 20) permet une interpolation qui, pour des périodes allant jusqu'à deux semaines, ne devrait guère contenir de grosses sources d'erreurs. Les problèmes liés à l'échantillonnage des diamètres dans les arbres individuels et à la taille de l'échantillon seront examinés à la section 5.5, dans le cadre de la prévision relative à la croissance des fruits.
2. Dans les stations de triage des producteurs, de grandes quantités de fruits sont calibrées et pesées. Supposons que la marchandise soit livrée telle qu'elle a été cueillie, c'est-à-dire sans triage préliminaire, et passe intégralement par la même installation de calibrage. La quantité récoltée M sera donc subdivisée par le calibrage en fractions m_1, m_2, \dots, m_k . Si chaque classe de grosseur est pesée à l'issue

du triage, on finit par connaître la quantité globale M , la quantité ($m_j - i$) dévolue à chaque classe de grosseur, ainsi que l'importance des intervalles. En transposant ces valeurs, relatives et cumulées, sur des feuilles à échelle fonctionnelle, il est aisé de démontrer qu'on obtient généralement une distribution normale, les valeurs individuelles s'ajustant dans la plupart des cas assez exactement sur une droite (figure 17). Le réseau de probabilités fournit en outre l'indication en millimètres de la valeur centrale comme point d'intersection avec la coordonnée de 50 %, ainsi que de la dispersion en deçà de la coordonnée de 16 % (ou de 84 %).

A noter que la valeur centrale ne représente pas, par exemple, le diamètre moyen des fruits, mais le diamètre de 50 % de la quantité globale de fruits. Or, comme il y a plus de fruits dans la moitié contenant les fruits de petit diamètre que dans la moitié contenant les gros fruits, le diamètre moyen des fruits ($\frac{\sum d}{n}$) est inférieur à la valeur centrale. Il ne faut pas oublier d'autre part que le fait d'utiliser le poids correspondant dans chaque cas à la corrélation diamètre/poids ne permet généralement pas de calculer directement le poids moyen recherché à partir du diamètre moyen des fruits. Cela ne serait possible que si la corrélation diamètre/poids était linéaire, la somme des écarts étant ainsi nulle, ou si la dispersion était nulle. Et tel n'est pas le cas.

Un résultat précis peut être atteint par intégration: en procédant pas à pas, à de très petits intervalles, pour des sections de surface entrant dans la répartition normale (ΔM), on calcule et on additionne d'abord le poids de fruits correspondant au diamètre considéré, puis le nombre de fruits dévolu à l'intervalle. A l'aide du nombre de fruits ainsi déterminé (N_f) on obtient alors comme d'habitude:

$$G_m = \frac{M}{N_f}$$

Ce calcul est facile à résoudre à l'ordinateur. Un pas de 1 mm pour d pourrait garantir l'approximation exigée ici.

Avant d'exploiter ainsi les résultats de calibrage, il faut néanmoins prendre garde aux sources d'erreurs suivantes:

1. Si les données ne portent pas sur la totalité du produit de la récolte, il peut en résulter une erreur systématique. Il se peut, par exemple, que les cueilleurs n'aient pas eu à récolter les très petits fruits ou que les fruits de mauvaise qualité, éliminés manuellement sur la machine avant le calibrage, ne soient pas répartis aléatoirement. C'est dire que si l'on n'a pas contrôlé les méthodes de triage d'un centre donné, la prudence s'impose lors du dépouillement des données fournies.
2. Les procédés traditionnels de calibrage sont généralement entachés d'erreurs systématiques (STENDER 1964). Le trait commun de ces procédés est que les fruits sont amenés sur des fentes ou des trous d'ouverture croissante et sont ainsi sélectionnés par grosseur croissante. Il est physiquement impossible qu'un fruit passe par un trou plus petit que lui-même. En revanche, l'inverse se produit avec une certaine fréquence. L'erreur est d'autant plus grande que les fruits qui ne sont pas tout-à-fait ronds sont généralement prélevés selon leur diamètre maximal.

Des études effectuées à ce sujet sur une installation de triage "Greefa" à Bavendorf ont relevé une erreur systématique de 3,5 %. Il n'est pas exclu que les divers types

RESULTATS DE CALIBRAGES DANS LE RESEAU DE PROBABILITE

17

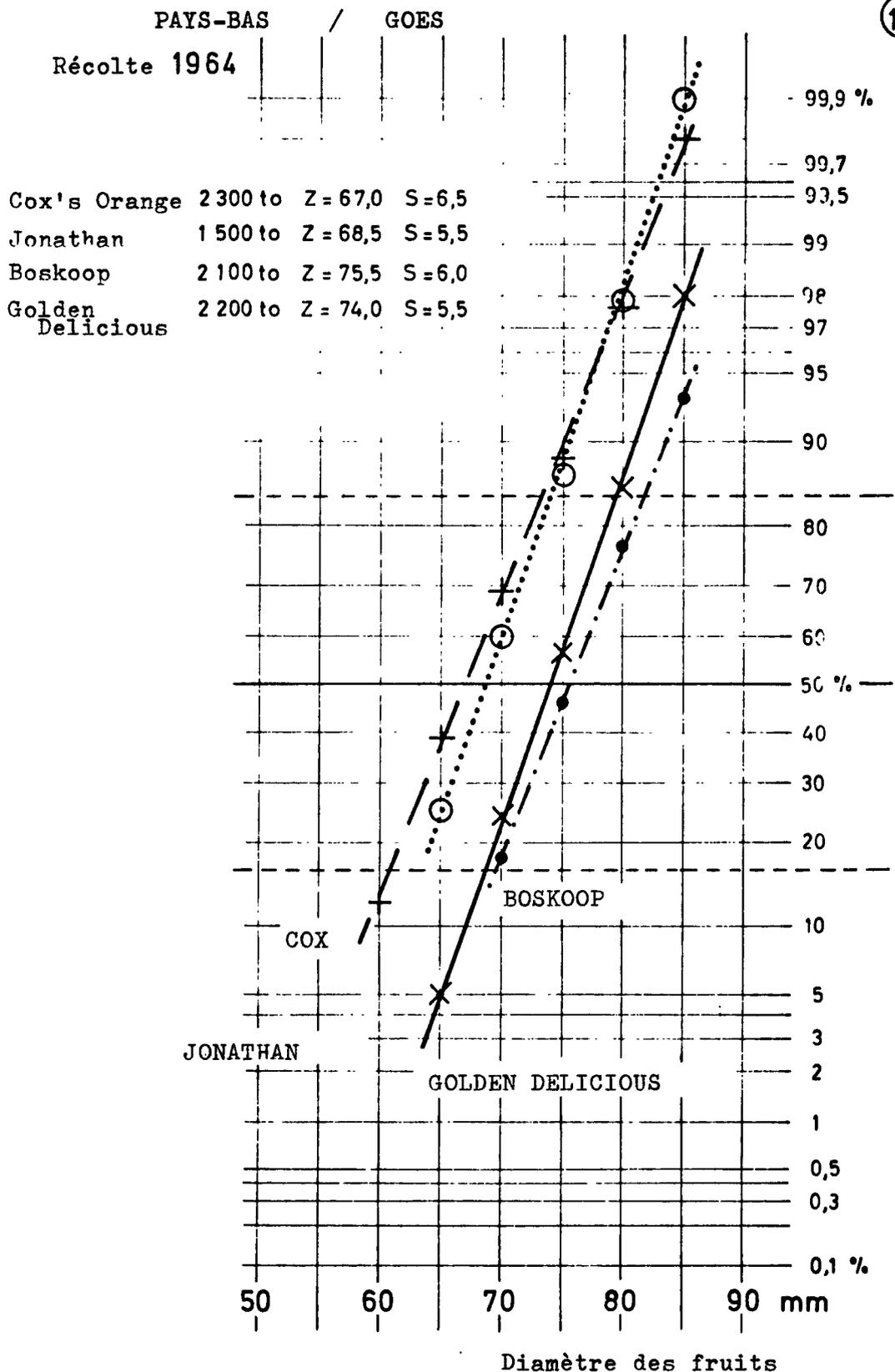


Tableau 15

Erreurs liées au calcul des poids moyen des fruits d'après des résultats de calibrage, (compte tenu d'une erreur-type de $\pm 3,5$ %)

Variété	Nombre de comparaisons	Erreurs résiduelles moyennes en %	s %
Golden Delic'ious	27	- 1.8	6.2
Cox's Orange	7	+ 2.8	7.1
Reine des reinettes	7	+ 3.1	6.2
Boskoop	12	+ 0.3	4.1
Cloche	12	+ 11.8	2.4

de machines provoquent des erreurs différentes. D'autre part, pour le type de machine examiné, on a constaté un accroissement de l'erreur systématique en fonction de l'accroissement de l'indice "forme des fruits" (= hauteur des fruits / diamètre des fruits). Le tableau 15 donne un aperçu de ces recherches. La "pomme cloche", qui occupe une position particulière, se distingue par un indice "forme des fruits" extrêmement élevé. Une autre source d'erreur enfin réside dans la possibilité d'un réglage défectueux de la machine.

En dépit de ces défauts, l'auteur attache une grande importance à la méthode de calcul du poids des fruits d'après les résultats du calibrage, et considère son perfectionnement d'autant plus opportun que les données visées se présentent chaque année en grandes quantités dans toutes les régions de culture. Ces données couvrent généralement des milliers de tonnes d'une variété. On peut donc admettre que non seulement les dispersions d'un arbre à l'autre mais aussi les dispersions inhérentes au mode d'exploitation et aux conditions locales sont neutralisées, et que les quantités traitées dans ce cas constituent réellement un échantillon représentatif - tel que l'exige le modèle de prévision - de l'univers régional global pour l'année de référence, compte tenu des densités de charge en fruits du moment.

5.4 Corrélation "diamètre des fruits / poids des fruits"

Les deux procédés exposés ci-dessus exigent qu'on détermine le poids des fruits d'après leur diamètre. Ce problème a été étudié pour de nombreuses variétés et provenances, la méthode suivie consistant à mesurer le diamètre moyen à l'aide d'un pied à coulisse, et à mesurer le poids des fruits correspondant au moyen d'un pèse-lettres.

La pomme ayant une forme approximativement sphérique, la corrélation doit correspondre à peu près à celle d'une sphère, c'est-à-dire à la fonction $y = ax^3$, et avoir de ce fait une allure non linéaire. ROEMER (1962) a utilisé cette fonction comme formule

d'approximation du volume pour étudier les problèmes relatifs à la croissance des fruits. Mais compte tenu de la précision exigée ici, une telle approximation est insuffisante. Deux facteurs au moins provoquent un écart systématique par rapport à la fonction de la sphère:

1. le poids spécifique, que LUSIS (1958) a trouvé fort semblable pour un certain nombre de variétés de pommes étudiées par lui, mais qui présente toutefois une corrélation négative avec la grosseur des fruits (il en résulte d'après ROEMER (1963), une corrélation non linéaire);
2. la hauteur des fruits qui, selon ROEMER (1967), présente une corrélation négative avec le diamètre des fruits. ROEMER a constaté ici une relation linéaire.

Comme le poids spécifique et la hauteur des fruits présentent une corrélation négative avec la grosseur des fruits, la fonction $y = ax^3$ donne un poids croissant plus vite que le diamètre. Un ajustement sensiblement plus précis est obtenu par la fonction

$$y = a + bx + cx^3.$$

Mais comme les deux influences modificatrices considérées ne doivent pas présenter une corrélation linéaire, des fonctions apparentées ont également été expérimentées. La fonction

$$y = a + bx^3 + cx^4$$

a fourni, pour un degré de détermination sensiblement meilleur (r^2 de 0,92 à 0,98), des valeurs de a sensiblement plus réduites et généralement non significatives, ce qui paraît opportun dans l'optique d'une fonction "conforme à la nature", afin que si $x = 0$, l'on parvienne également à 0 pour y , bien que cette exigence ne paraisse pas nécessaire au plan strictement mathématique, des fruits < 40 mm n'apparaissant pratiquement pas dans la récolte.

Le tableau 16 réunit un certain nombre de données, déterminées d'après cette fonction, pour de nombreuses variétés et provenances.

Tableau 16

Corrélation entre diamètres et poids des fruits des différentes variétés et régions d'origine, d'après la fonction $G = a + bd^3 + cd^4$

Région / Variété	a	b	c	Poids des fruits en gr pour différents diamètres en dm																
				0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95							
<u>RFA - Lac de Constance</u>																				
Berlepsch	0.7	478.4	- 85.8	55	72	93	117	144	175	210	250	213	250	213	250	213	250	213	250	213
Boskoop	-20.7	708.7	-290.3	50	71	95	122	153	186	223	263	305	350	305	350	305	350	305	350	305
Cox's Orange	1.3	499.8	- 94.2	58	76	97	122	150	182	219	259	299	343	398	299	343	398	299	343	398
Cloche	9.2	536.7	- 88.2	71	90	114	141	172	208	248	293	343	398	293	343	398	293	343	398	293
Golden Delicious	-17.1	773.8	-386.7	55	76	100	126	155	187	221	256	293	343	398	293	343	398	293	343	398
Reine des reinettes	- 5.5	582.1	-183.4	56	75	96	122	150	182	217	256	293	343	398	293	343	398	293	343	398
Gravensteiner	30.8	149.5	274.3	67	81	99	121	148	181	220	266	320	382	266	320	382	266	320	382	266
James Grieve	- 8.0	585.6	-204.3	52	71	92	116	144	174	208	245	288	332	245	288	332	245	288	332	245
Jonathan	2.5	509.7	-168.4	56	72	91	112	137	164	195	228	266	300	228	266	300	228	266	300	228
St. Earliest	- 8.7	681.5	-452.9	48	63	80	98	116	135	155	178	206	236	155	178	206	236	155	178	206
Alex. Lucas	3.3	731.6	-145.2	86	112	143	178	219	266	318	377	441	512	377	441	512	377	441	512	377
Conférence	-17.3	1106.9	-546.1	87	117	151	189	231	277	326	377	441	512	377	441	512	377	441	512	377
<u>RFA - Rhénanie</u>																				
Boskoop	-20.0	688.3	-292.1	48	68	91	117	146	178	213	250	290	332	250	290	332	250	290	332	250
Cox's Orange	9.4	366.3	15.1	56	72	90	113	139	169	203	242	282	322	242	282	322	242	282	322	242
Golden Delicious	-25.7	742.5	-329.3	47	68	92	119	150	183	220	258	300	343	258	300	343	258	300	343	258
Reine des reinettes	22.8	145.2	307.5	60	75	94	118	146	181	223	266	312	360	266	312	360	266	312	360	266
Jonathan	- 5.4	589.9	-255.3	52	69	89	111	136	163	192	224	266	300	224	266	300	224	266	300	224
<u>B - St. Trond</u>																				
Boskoop	-25.3	805.5	-405.7	50	72	96	124	154	186	221	259	296	337	259	296	337	259	296	337	259
Golden Delicious	4.4	346.2	70.6	52	68	88	112	140	173	211	254	303	350	254	303	350	254	303	350	254
Jonathan	10.6	368.2	- 4.9	56	71	90	111	136	164	197	234	272	312	234	272	312	234	272	312	234
<u>PB - Côte occidentale</u>																				
Boskoop	-60.9	1061.2	-572.9	63	82	105	133	165	204	249	300	360	420	300	360	420	300	360	420	300
Cox's Orange	21.1	256.3	155.7	63	78	97	119	146	178	216	260	300	343	260	300	343	260	300	343	260
Golden Delicious	10.7	353.5	139.1	64	82	105	133	165	204	249	300	360	420	300	360	420	300	360	420	300
Jonathan	12.8	415.6	- 60.8	61	76	95	116	141	169	201	236	272	312	236	272	312	236	272	312	236

Suite du tableau 16

Région / Variété	a	b	c	Poids des fruits en gr pour différents diamètres en mm										
				0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	
PB - Polder de l'IJsselmeer														
Boskoop	-55.2	1022.3	-579.2		62	91	122	156	193	231	270	310	350	
Cox's Orange	- 3.2	543.5	-168.5		54	72	92	116	143	173	206	243		
Golden Delicious	18.8	352.0	61.8		67	83	103	126	154	187	224	267	316	
I - Province de Bolzano														
Reinette de Bolzano	27.6	71.9	290.6		55	66	81	99	122	150	183	223	271	
Cox's Orange	11.3	336.7	10.0		54	68	85	105	129	156	188	223		
Golden Delicious	19.9	340.6	44.1		65	81	99	121	147	178	212	252	297	
Reine des reinettes	- 4.8	551.3	-198.5		52	69	89	111	137	165	196	230	348	
Gravensteiner	-21.3	720.7	-382.6		45	64	85	108	134	162	191	222	253	
Jonathan	21.0	254.3	71.2		57	70	85	104	125	150	180	214	253	
Kalterer Böhmer	5.9	486.8	-212.0		54	68	84	102	122	144	168	194	222	
Rome beauty	0.1	415.8	- 41.2		50	66	85	107	133	163	196	234	276	
Red Delicious	-30.1	877.9	-488.1		49	71	96	124	154	186	219	254	290	
Winesap	15.8	186.7	248.3		55	70	88	111	139	173	213	260	315	
Grand Alexandre	-156.5	2238.4	-1582.7		71	122	176	231	287	341	392	437	474	
I - Province de Ferrare														
Golden Delicious	-52.0	1199.9	-815.8		47	73	101	132	164	196	228	259	287	
Jonathan	-52.6	1186.0	-859.5		42	66	92	120	148	176	203	227	248	
Red Delicious	9.7	307.8	179.3		59	77	99	126	158	196	241	292	352	
Abbé Fétel	-147.1	2371.8	-1675.4		45	94	148	205	264	323	381	440	500	
Grand Alexandre	- 0.8	812.8	-272.9		84	109	139	174	212	256	304	356	413	
Passé Crassane	-21.3	1452.5	-968.4		100	132	167	205	244	283	326	365	402	
Bon chrétien William	-13.8	817.7	-175.9		77	106	140	179	224	275	333	392	451	

C O R R E L A T I O N

DIAMETRE MOYEN DES FRUITS /
POIDS MOYEN DES FRUITS

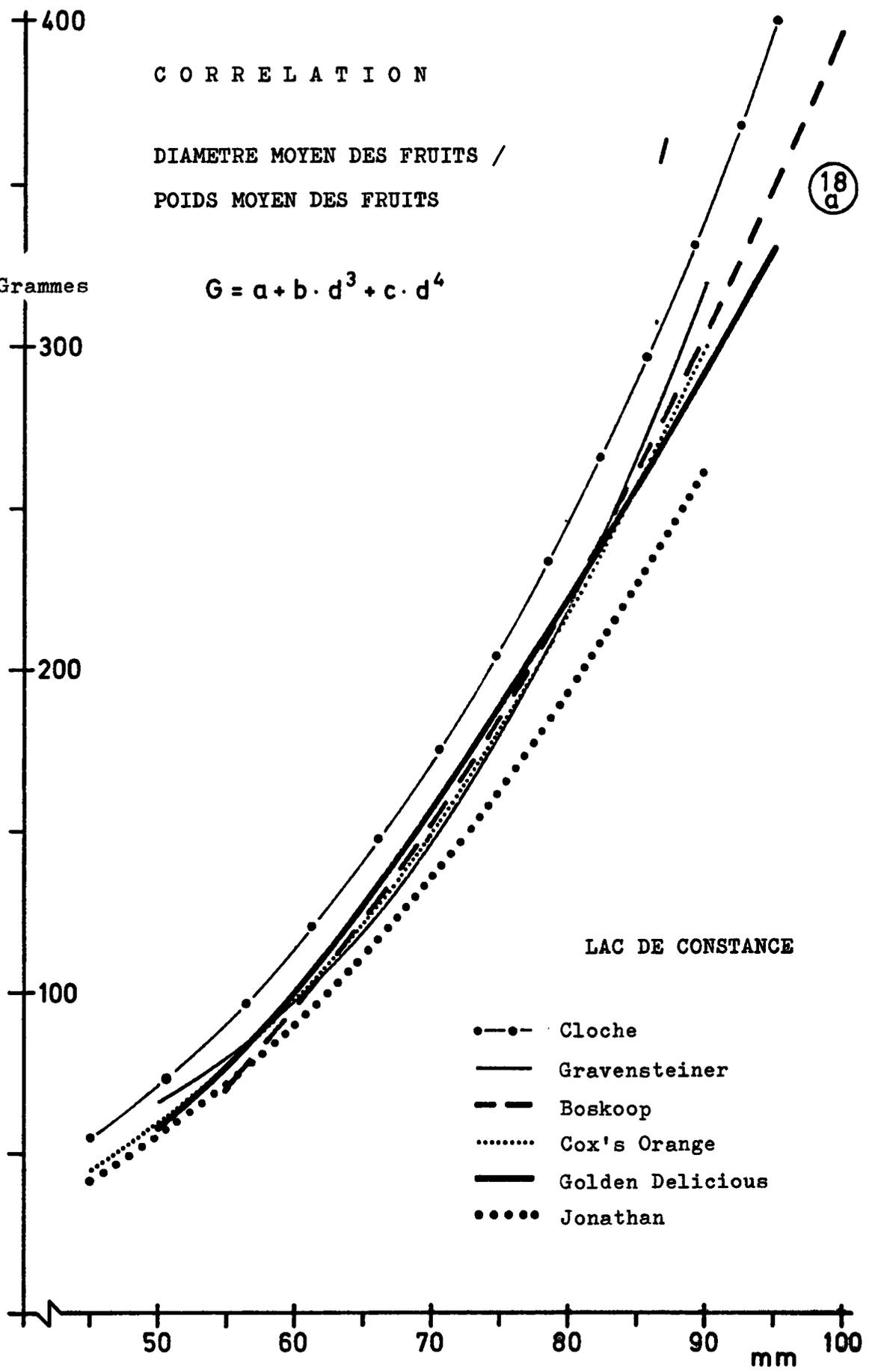
$$G = a + b \cdot d^3 + c \cdot d^4$$

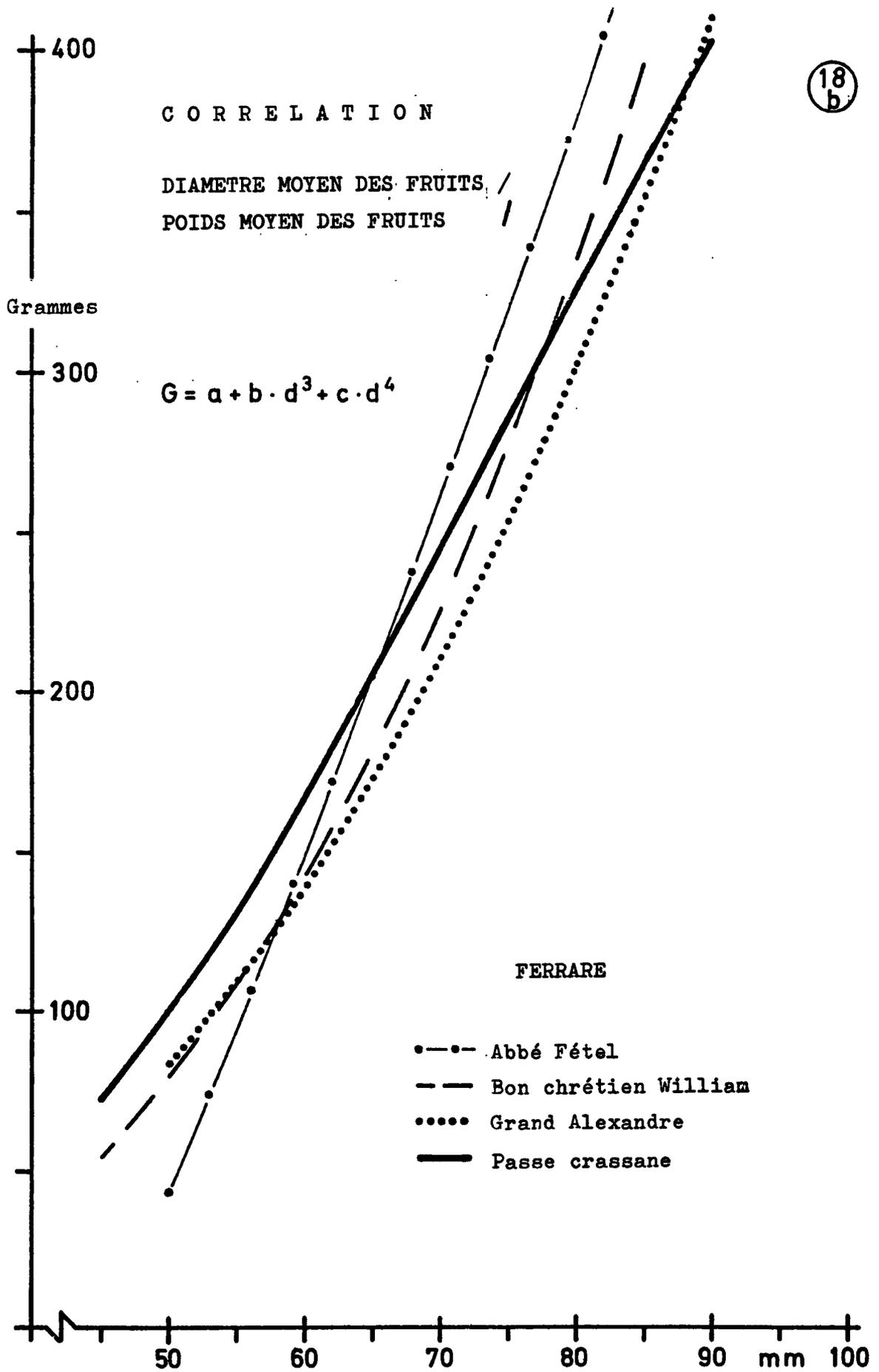
Grammes

18
a

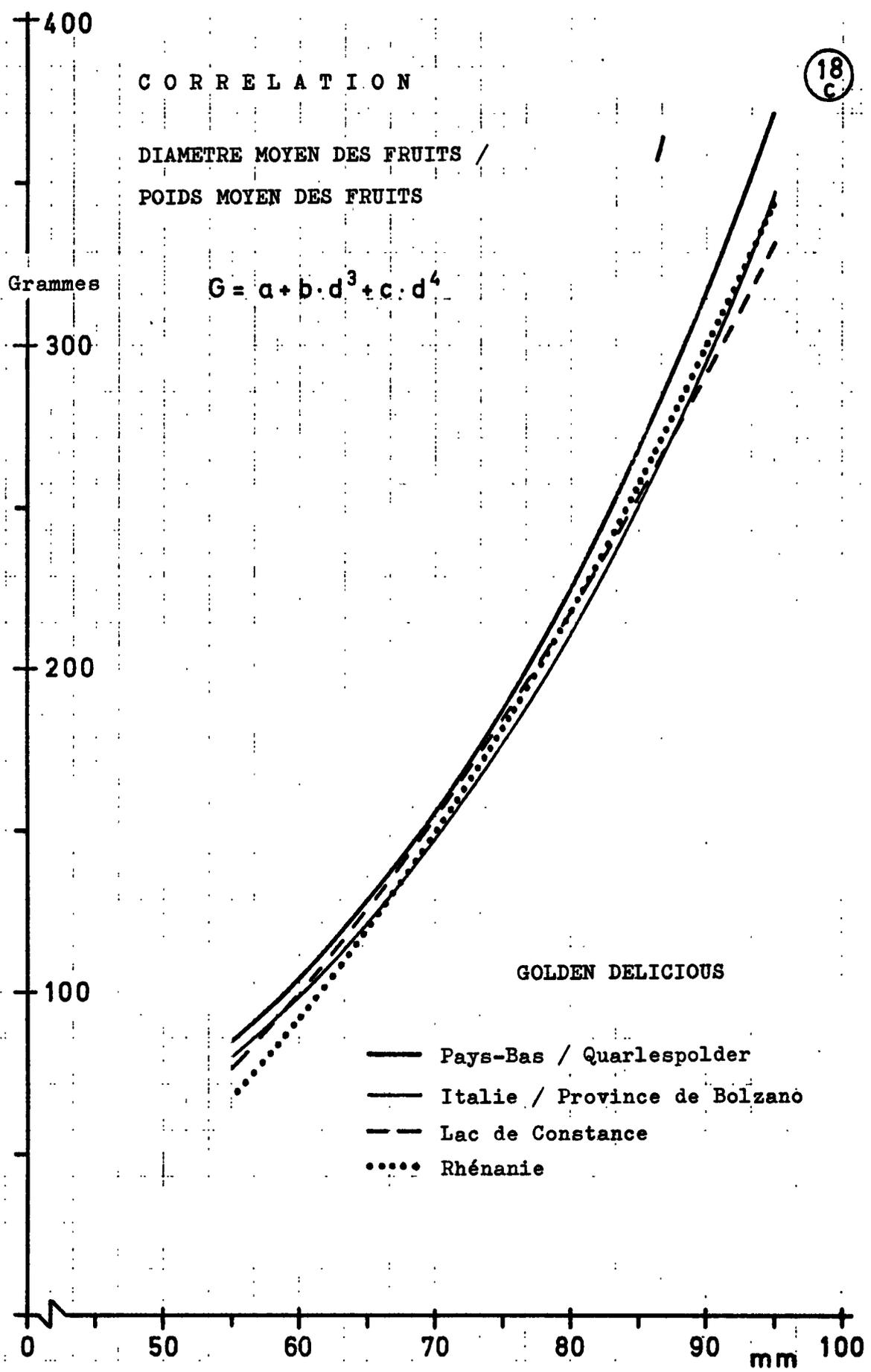
LAC DE CONSTANCE

- Cloche
- Gravensteiner
- - - Boskoop
- Cox's Orange
- Golden Delicious
- Jonathan





CORRELATION
DIAMETRE MOYEN DES FRUITS /
POIDS MOYEN DES FRUITS



Les poids des fruits correspondent dans chaque cas au diamètre moyen indiqué en tête de colonne. Le lecteur peut déterminer les valeurs intermédiaires soit par interpolation, ou mieux encore au moyen d'un graphique. Pour que les valeurs obtenues ne soient pas trop petites, les paramètres a, b et c se rapportent à d en décimètres et à G en grammes. La corrélation a aussi été calculée pour un certain nombre de variétés de poires. Il semble que cette formule puisse être valablement ajustée, même pour les poires, mais qu'on doive s'attendre à des dispersions considérables, étant donné que la forme du fruit s'écarte beaucoup plus sensiblement de la sphère et que la longueur du fruit (hauteur) varie considérablement pour un même diamètre. Le premier impératif consisterait donc à fonder les calculs de la corrélation d/G sur des échantillons plus vastes pour les poires que pour les pommes. On pourrait en outre envisager de compléter les mesures des diamètres de fruits sur l'arbre par des mesures de la longueur des fruits. En fait, avec les résultats des triages, la seule référence est le diamètre. Pour des échantillons de grande taille on devrait cependant pouvoir obtenir des données utilisables si l'on pouvait faire abstraction des influences systématiques qui s'exercent exclusivement sur la longueur des fruits. Ce problème devrait être étudié d'une manière plus approfondie.

Comme il ressort du tableau 16, ainsi que des figures 18 a et b, les différentes variétés se comportent si différemment en ce qui concerne la corrélation d/G qu'un ajustement s'impose variété par variété. La hauteur du fruit notamment semble avoir une influence particulièrement sensible. Les variétés oblongues - par exemple la pomme cloche d'hiver - présentent des poids de fruits particulièrement élevés pour un diamètre donné et vice versa. Mais des différences se manifestent aussi entre fruits de provenances diverses de la même variété. Conformément à l'indice "forme des fruits" étudié par ROEMER (1966), les fruits "oblongs" provenant du nord présentent généralement, à diamètre égal, un poids supérieur à ceux du midi.

C'est dire que pour les conversions des diamètres en poids, il faut disposer de paramètres a, b et c, non seulement pour chaque variété, mais aussi pour chaque région d'origine (figure 18 c).

Certes ce caractère de constance n'est pas assez prononcé pour permettre de définir avec suffisamment d'exactitude la date de récolte optimale répondant le mieux à la physiologie des fruits, mais l'incidence modificatrice des influences environnementales est inférieure à celle qu'on peut attendre en comparant, par exemple, des régions de culture fruitière froides et chaudes. C'est ainsi que la période moyenne de floraison de la variété Golden Delicious se situe, dans le climat sec et méditerranéen de la Provence, au début d'avril, la récolte atteignant son niveau maximal au début de septembre, et que les dates correspondantes dans la région du lac de Constance se situent aux environs du 10 mai pour le délai moyen de floraison et du 10 octobre pour la récolte. Aussi le modèle est-il provisoirement fondé sur cette constance. On envisage de l'améliorer eu égard à une modification de ces périodes en se fondant sur certains critères comme, par exemple, les variations de température, l'hydraulicité, le porte-greffe, la densité de charge, etc.

Une fois fixé, le délai entre la floraison et la date moyenne de la récolte doit permettre de définir le point initial et final d'une fonction caractérisant la croissance. Cette possibilité existe aussi lorsque la cueillette d'une variété s'effectue à des dates différentes, à condition que l'on puisse définir qualitativement et quantitativement la portion à cueillir. Les résultats de séries d'observations pluriannuelles permettent de déterminer empiriquement l'évolution moyenne de la croissance des fruits. On peut alors comparer les valeurs théoriques de la fonction normale considérée avec les valeurs réelles déterminées par des mesures courantes, à n'importe quel moment entre la floraison et la cueillette, et en déduire les valeurs de correction à appliquer au poids des fruits à la récolte.

La mesure de la fonction de croissance est le diamètre des fruits, d'autant plus qu'une conversion en poids ne présente, comme nous l'avons expliqué, aucune difficulté particulière. Les cueillettes expérimentales prématurées, avec tous les problèmes organisationnels et psychologiques qu'elles posent, sont ainsi évitées. D'autre part, les mêmes arbres-échantillons peuvent être réutilisés pour des mesures répétées.

Pour pouvoir tirer des conclusions valables des différences entre valeurs effectives et valeurs théoriques, il fallait définir la corrélation existant entre une différence au moment du sondage et une différence au moment de la cueillette. D'après les résultats de recherches de ROEMER (1962), il semble que les différences de diamètre aient tendance à subsister linéairement.

On aboutit au même résultat par des comparaisons de la croissance de fruits de grosseurs différentes d'un même arbre. Se basant sur le matériel de recherche de SILBEREISEN et LINK (Golden Delicious), les expérimentateurs précités et l'auteur ont constaté en commun une surprenante constante dans les différences absolues entre les diamètres des différents fruits, depuis la mesure relativement précoce effectuée après la chute de juin jusqu'à la fin de la récolte (tab. 17). Dans tous les exemples, portant au total sur 237 fruits, l'hypothèse nulle est confirmée.

Tableau 17

Démonstration de la constance des différences absolues entre les diamètres des fruits, de la chute de juin à la récolte (Golden Delicious) d'après la corrélation "diamètre des fruits à la chute de juin / croissance du diamètre jusqu'à la récolte"

Expérimentateurs et essais	n	diamètre moyen des fruits en mm	dispersion des \emptyset en mm	croissance moyenne jusqu'à la récolte en mm	int.de conf. P = 0,05 p. accroissem. b	indice de confirmation B
SILBEREISEN Wiesloch 1964	35	37.6	3.7	31.6	- 0.3 à + 0.8	0.02
Wiesloch 1966	50	41.7	4.0	29.6	- 0.5 à + 0.5	0.00
Bavendorf 1966	31	39.6	3.3	27.3	- 0.3 à + 0.7	0.02
LINK Bavendorf 1963	121	41.2	3.3	33.8	-0.04 à + 0.3	0.01

Ce résultat ne va nullement de soi car une constance absolue dans la différence des diamètres n'implique pas nécessairement une constance dans la différence des poids. Bien plus elle suppose un accroissement de poids plus important pour les gros fruits que pour les petits fruits. Cette "tendance à la constance de la différence absolue entre les diamètres de fruits", peu après les chutes de juin, ressort également des dispersions des échantillons tirés par l'auteur sur de nombreux arbres expérimentaux pour déterminer le diamètre des fruits, à différents stades de développement: cette dispersion, qui est généralement inférieure à 2 mm environ 30 jours après la floraison, s'accroît jusqu'à 4 à 5 mm jusqu'au 70e jour environ (à condition qu'on n'opère pas d'éclaircissement sélectif), pour ne plus guère se modifier ultérieurement. En conséquence, le coefficient de variation (s %) présente un maximum sensible de 10 - 12 % quelque 50 à 70 jours après la floraison, pour retomber avant la récolte à des ordres de grandeur de l'ordre de 6 à 8 % (voir tableau 18 p. 103).

Dans ce modèle, nous avons tenu compte de cette tendance à la constance de la différence absolue entre les diamètres des fruits, en supposant qu'une telle tendance existe également entre une certaine valeur théorique, dérivée de recherches pluriannuelles, et la valeur effective mesurée au cours de l'année d'observation.

Mathématiquement cela donne:

$$d_{th.t} - d_{eff.t} = d_{th.R} - d_{eff.R}$$

et

$$d_{eff.R} = d_{th.R} + (d_{th.t} - d_{eff.t})$$

où

$d_{th.R}$ et $d_{th.t}$ = diamètre théorique au moment de la récolte correspondant au diamètre à l'époque t

$d_{eff.R}$ et $d_{eff.t}$ = diamètre probable à la récolte d'après les informations " $d_{eff.}$ " au moment t

Dans le modèle, on suppose que les conditions météorologiques entre l'époque t de la dernière information et de la récolte seront normales et que la croissance se poursuivra normalement. Si tel n'est pas le cas, la prévision devra naturellement faire l'objet d'une correction. Il ne serait possible de diminuer ici le risque de prévision qu'en faisant appel à des prévisions météorologiques fiables à moyen et à long terme.

Par ailleurs, il est manifeste que la croissance des fruits dans la phase de division cellulaire, c'est-à-dire pendant les 60 premiers jours après la floraison, joue un rôle particulièrement important dans l'ensemble du processus de croissance. Aussi devrait-on pouvoir réduire très sensiblement le risque de prévision en procédant à des comparaisons de la grosseur des fruits dès la fin de cette période.

ROEMER (1962) a constaté qu'au cours des 6 premières semaines suivant la floraison, les températures avaient généralement, sur le poids des fruits à la récolte, un effet plus sensible que les influences ultérieures.

L'inutilité d'effectuer des mesures avant la fin de la chute physiologique des fruits (en juin) est démontrée par le simple fait qu'on ne connaît pas encore avec certitude à ce moment les fruits qui resteront sur l'arbre. La première comparaison relative à la croissance des fruits pourrait avoir lieu peu après cette époque, c'est-à-dire en même temps que le sondage relatif aux densités de charge. Elle devrait être répétée une seconde fois pour les variétés automnales et même éventuellement une troisième fois pour les variétés tardives.

En dépit d'une corrélation souvent très nette entre la croissance des fruits au cours des 60 premiers jours et le poids de ces fruits à la récolte, ceux-ci restent encore très sensibles à certaines influences, même après ce délai. Pendant l'été notamment, le manque d'eau peut entraîner des dépressions considérables. MOSTAFAWI a découvert qu'à n'importe quel moment de la croissance des fruits, le manque d'eau pouvait exercer une influence sensible à relativement brève échéance.

Dans les régions de culture où la durée de végétation est plus brève, une influence sur le délai de croissance des variétés tardives joue également un rôle modificateur: c'est ainsi que dans les régions de culture nordiques, ou situées en altitude, le délai de récolte optimal n'est jamais atteint pour Golden Delicious (environ 155 jours), lorsque la floraison s'achève tard. La croissance des fruits est pratiquement limitée par la fin de la période de végétation.

Inversement, c'est précisément là où ce problème ne joue aucun rôle, dans les régions favorisées par un climat chaud, qu'une époque de floraison précoce vient favoriser le développement des variétés tardives. On tient compte de cet élément dans le modèle en déterminant si le délai entre la date effective de la floraison et la fin de la période de végétation est suffisant pour que les fruits atteignent leur maturité à la cueillette. Si tel n'est pas le cas, on considère comme époque de cueillette moyenne non pas la fin de la période normale de croissance - 155 jours, par exemple, pour Golden Delicious - mais la fin de la période de végétation. Conformément aux travaux de WALTER et aux propres observations de l'auteur concernant l'incidence de la température sur la croissance des fruits, ce terme est fixé dans le modèle au jour où la moyenne des températures tombe en deçà de 9°C. Ce raccourcissement de la période de croissance entraîne donc a priori une prévision plus défavorable en ce qui concerne le poids des fruits à la récolte, conformément au paramètre de y pour la valeur plus faible de x (cf. fig. 20).

5.52 Modèle de prévision de la croissance des fruits

Les considérations exposées ci-dessus ont conduit au modèle suivant de prévision de la croissance des fruits, modèle dont la mise en application ne peut intervenir au plus tôt qu'au moment où l'on mesure la densité de charge:

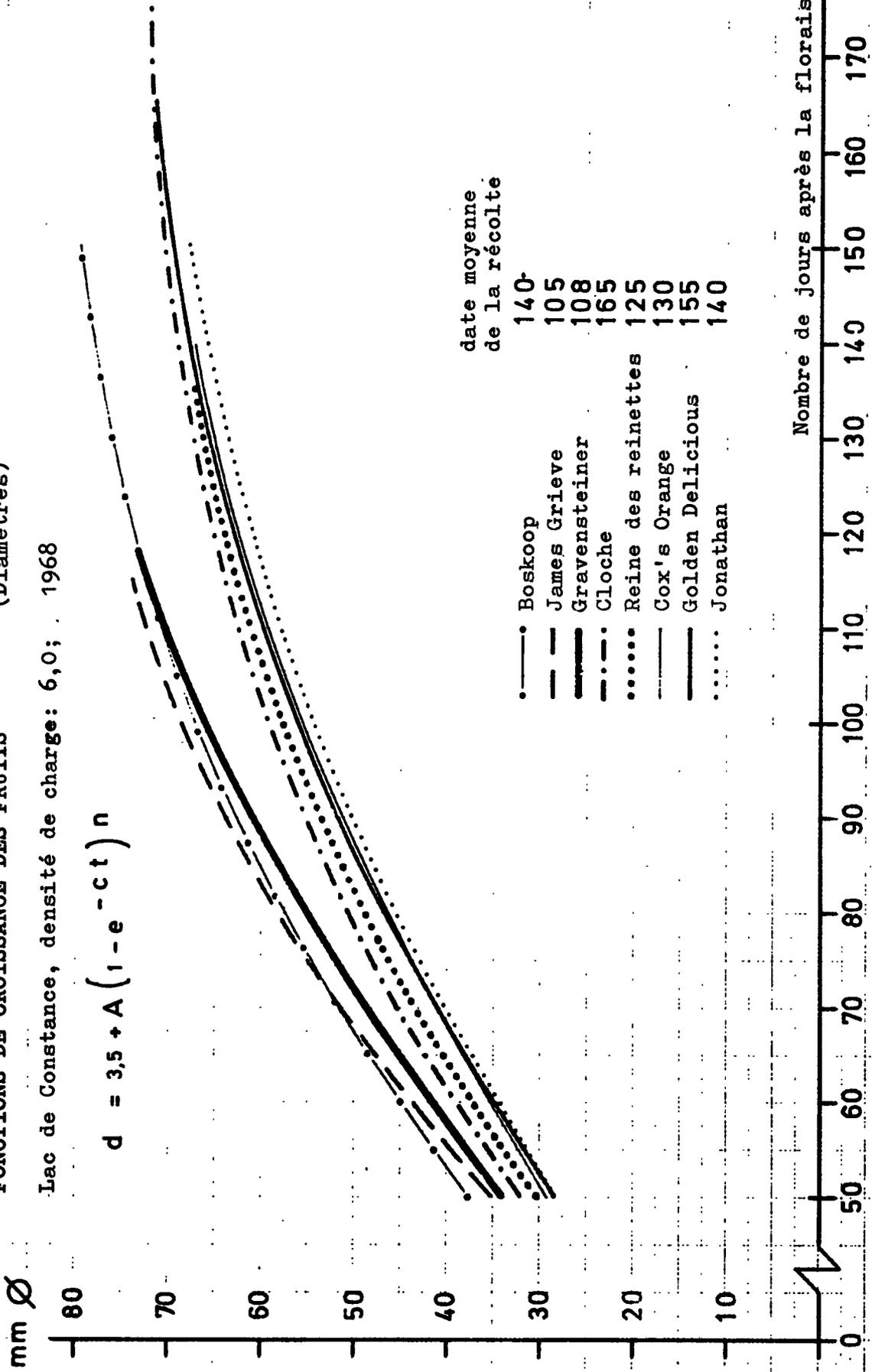
Ce modèle est fondé sur les échantillons relatifs à la croissance des fruits, qui doivent être tirés à intervalles d'environ deux semaines pour chaque région et chaque variété. De telles séries de mesure devraient porter sur des arbres de densités de charge diverses, en nombre suffisant pour permettre le dépouillement statistique, et sur plusieurs périodes de végétation. Les éléments d'échantillonnage sont les diamètres moyens des fruits d'arbres-échantillons pris individuellement.

Une fonction de croissance est ajustée aux valeurs moyennes calculées pour chaque période, d'après les résultats afférents à n arbres. La fonction déjà mentionnée de MITSCHERLICH s'est avérée parfaitement ajustable à toutes les allures de croissance constatées. On comprend que les exigences en matière d'ajustement soient élevées dans ce modèle lorsqu'on pense que des erreurs de 1 mm provoquent une erreur de prévision de 4 % quant au poids. On ne peut donc pas

FONCTIONS DE CROISSANCE DES FRUITS (Diamètres)

Lac de Constance, densité de charge: 6,0; 1968

$$d = 3,5 + A(1 - e^{-ct})^n$$



se contenter d'utiliser la même fonction pour plusieurs variétés ni de définir uniquement, variété par variété, la courbe sous forme de paramètre pour le "diamètre des fruits à la récolte". Comme le montre la figure 19, les fonctions de croissance de certaines variétés présentent des divergences caractéristiques. Il serait intéressant de comparer les fonctions de croissance afférentes aux mêmes variétés de régions différentes. Malheureusement, les données nécessaires à une telle comparaison ne sont pas encore disponibles.

Alors que les échantillons d'accroissement réparti par période servent à définir l'évolution de la croissance pour chaque variété et chaque région, on détermine mieux la courbe de la fonction à l'aide de l'ensemble des données relatives au poids des fruits à la récolte, conformément au tableau 14. Pour effectuer cette conversion, il faut d'abord calculer le diamètre moyen qui correspond au poids moyen des fruits à la récolte et qui dépend de la dispersion. En outre, il faut connaître le délai moyen entre la floraison et la récolte (en jours) qui doit être porté en abscisse. A noter enfin que la valeur portée en ordonnée, le diamètre des fruits à la récolte, peut varier selon la densité de charge.

D'après les données disponibles jusqu'ici, l'effet modificateur de la densité de charge en fruits se manifeste au cours de la période de croissance par une divergence de plus en plus grande du diamètre des fruits d'arbres diversement chargés, c'est-à-dire que la courbe de la fonction varie. La figure 20 présente un certain nombre d'exemples. Le paramètre afférent à la courbe (b) doit donc être calculé séparément pour chaque densité de charge, d'après le diamètre correspondant des fruits à la récolte. On a alors:

$$d_t = 3,5 + A_{d(s, u, \text{ök}, D, t_e)} \cdot (1 - e^{-c(s) \cdot t})^{n(s)}$$

où

d_t = diamètre des fruits t jours après la floraison

3,5 = valeur initiale de d (= diamètre moyen de l'axe de la fleur)

$A_{d(s, u, \text{ök}, D, t_e)}$ = paramètre d'accroissement obtenu lorsque la courbe de croissance fournie par c et n pour chaque variété est ajustée à la valeur probable normale du diamètre des fruits d à l'époque de la récolte t_e , et ceci spécifiquement pour chaque variété et porte-greffe (s, u) sous certaines conditions écologiques (ök) et pour des densités de charge définies (D).

$\bar{c}(s)$ et $n(s)$ = constantes propres à chaque variété.

Le diamètre des fruits à la récolte $d(s, u, \ddot{ö}k, D, te)$ s'obtient par transformation à partir du poids moyen des fruits à la récolte (en tenant compte de la dispersion).

Les résultats des recherches montrent que la densité de charge ne se répercute sur l'accroissement des fruits que 50 jours après la floraison (fig.20). Cela s'explique par le fait que l'accroissement du poids des fruits n'est guère sensible auparavant (fig.21), mais est considérable au cours de la phase de croissance considérée. Il existe plusieurs possibilités de traduire cette particularité de l'influence de la densité de charge dans la fonction de croissance avec plus d'exactitude encore que par une simple modification de la courbe:

- ajustements individuels par l'intermédiaire des coefficients c et n , pour chaque densité de charge;
- subdivision de la fonction au 50e jour (ligne horizontale fig.20) en une phase indépendante de la charge et une phase dépendante de la charge;
- introduction d'un facteur modérateur conformément à la "seconde approximation de la loi du rendement de MITSCHERLICH", correspondant à l'influence de la densité de charge.

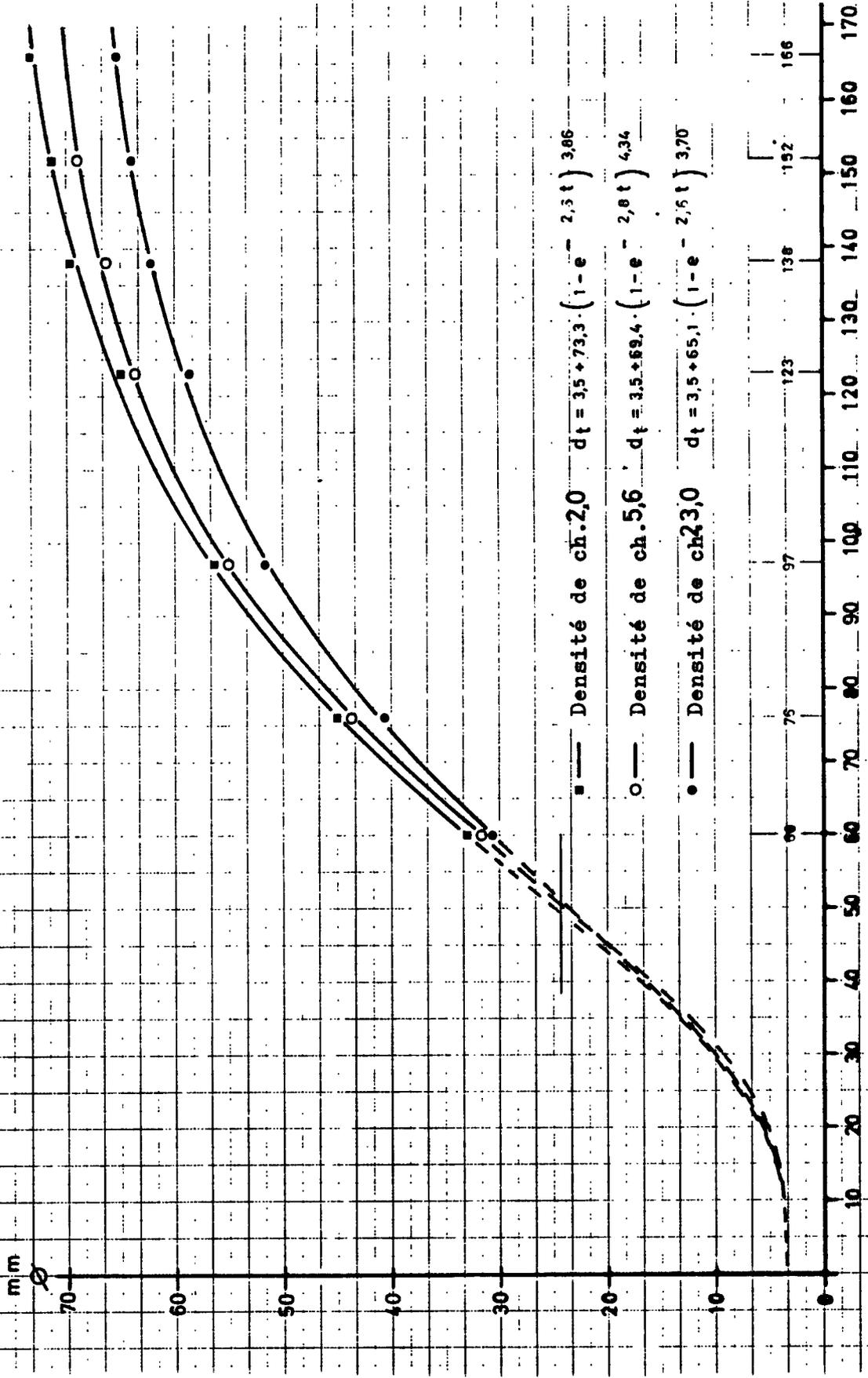
Dans la version actuelle du modèle, une erreur systématique ne revêt d'importance que dans le cas de densités de charge extrêmes, et encore uniquement lorsque les mesures comparatives sont effectuées avant le 60e jour suivant la floraison, étant donné que si les densités de charge sont élevées, des valeurs théoriques un peu trop faibles sont déterminées et vice versa.

5. 53 Application du modèle

Une fois établies des fonctions normales pour la croissance des fruits, on peut procéder, non seulement pour l'époque de la récolte, mais aussi, théoriquement, pour n'importe quelle date entre la floraison et la récolte, à une comparaison des valeurs effectives et théoriques. Pratiquement, une telle comparaison a cependant peu

Courbes de croissance des fruits sous l'influence de densités de charge différentes

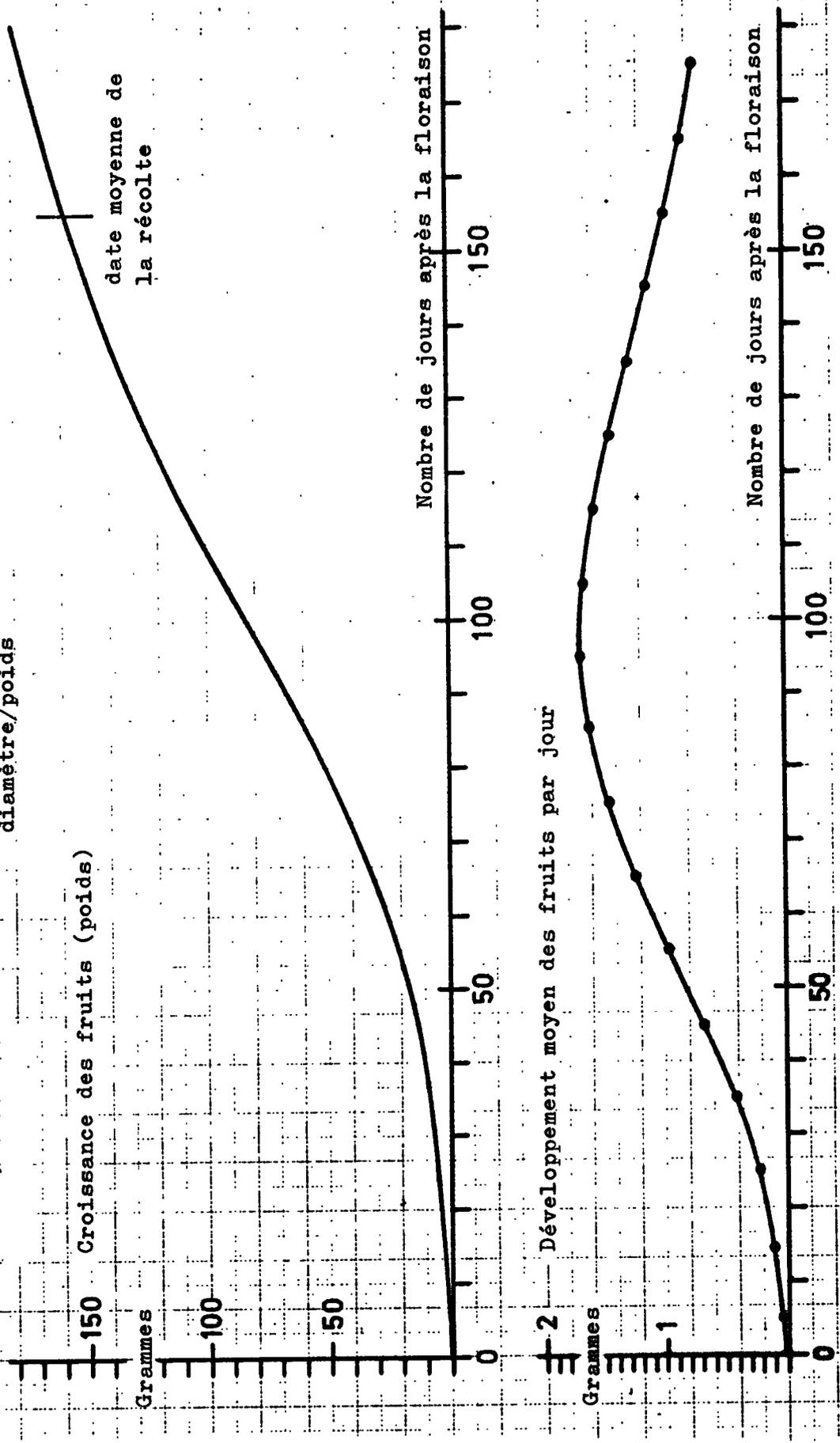
Golden Delicious - Lac de Constance, 1967



Nombre de jours après la floraison

GOLDEN DELICIOUS - LAC DE CONSTANCE 1968 ; Densité de charge 6,0

transformé d'après la fonction diamètre/croissance des fruits et d'après la corrélation diamètre/poids



de sens avant le 50e jour. Passé ce délai, le risque d'erreurs de prévision s'amenuise plus la date de comparaison se rapproche de l'époque de la récolte. Pour situer le point de départ, qui est la date annuelle de la floraison, l'indice le plus valable est le début de la chute des pétales.

L'échantillon du diamètre des fruits au moment t peut être tiré de la manière suivante: on sélectionne au hasard n arbres de la variété à étudier, en veillant toutefois à éliminer les arbres dont la densité de charge diverge sensiblement de la valeur moyenne de l'année de référence (une correction poussée des densités de charge recèle en effet des risques d'erreur qu'il est possible d'éviter).

Sur l'arbre, on détermine aléatoirement la branche par laquelle les mesures débiteront. A l'aide d'un pied à coulisse, on mesure le diamètre de tous les fruits de cette branche. Il ne paraît pas nécessaire de déterminer avec exactitude le diamètre moyen ou le diamètre maximal de chaque fruit, opération qui exige au moins le double de temps. Nous pensons qu'il est préférable d'appliquer le pied à coulisse comme cela se présente, sans tenir compte de la forme éventuellement irrégulière des fruits, mais de choisir l'échantillon aussi grand que possible. Les mesures doivent porter sur 50 fruits au moins par arbre. Pour éviter toute erreur systématique, il faut toujours mesurer tous les fruits d'une branche, en partant de la base de celle-ci. Si l'on n'atteint pas ainsi le nombre minimal de fruits, on répète l'opération avec tous les fruits d'une seconde branche.

On détermine en outre avec précision la densité de charge de l'arbre expérimental. Des exemples des résultats de mesure obtenus par cette méthode figurent au tableau 18.

Pour chaque arbre-échantillon individuel, on calcule la différence entre la valeur effective et la valeur théorique. Puis, on corrige la valeur théorique des diamètres à la récolte en modifiant du montant de cette différence le "diamètre normal des fruits à la récolte", déduit pour chaque densité de charge du "poids normal des fruits à la récolte". Enfin on calcule le poids moyen corrigé des fruits à la récolte correspondant au diamètre moyen corrigé des fruits à la récolte, en tenant compte de la dispersion constatée des diamètres. Le

quotient "poids des fruits corrigé à la récolte / poids des fruits normal à la récolte" constitue l'élément d'échantillonnage pour la correction recherchée à l'accroissement des fruits. Celle-ci est utilisée directement comme multiplicateur dans le modèle de prévision du rendement. Dans le cas idéal, le coefficient a la valeur 1. Après élimination de l'influence de la densité de charge, nous avons constaté jusqu'ici dans le champ expérimental de Bavendorf des dispersions atteignant un ordre de grandeur de $\pm 3\%$ entre les valeurs afférentes aux arbres individuels. Néanmoins, il faut compter avec des dispersions plus grandes lorsqu'il s'agit de régions de culture entières.

En ce qui concerne l'échantillonnage des diamètres sur l'arbre, il reste à examiner de plus près jusqu'à quel point la mesure des fruits d'une branche fournit des valeurs représentatives pour l'arbre. Dans les hauts arbres en effet, la partie supérieure de la couronne n'est pas directement accessible. Il n'est pas exclu que les fruits y soient significativement plus gros que les fruits accessibles du sol. Pour épargner aux préleveurs d'échantillons l'utilisation d'échelles, il faudrait essayer de définir des coefficients de correction pour ce cas particulier.

C'est encore le problème du poids des fruits qui est le plus entaché d'incertitudes dans le cadre du modèle global; l'auteur seul n'est pas en mesure de réunir les données nécessaires pour établir statistiquement la fonction "densité de charge / poids" et la fonction de croissance des fruits, pour toutes les variétés intéressantes et pour les diverses régions de culture.

Il n'empêche que le modèle a atteint un stade lui permettant d'être utilisé comme tel et que nous savons de quelles données nous avons besoin et comment nous devons les traiter.

Tableau 18

Résultats de mesures courantes du diamètre des fruits, effectuées sur un même arbre entre la floraison et la récolte

Variété	Nombre de jours après la floraison	N	x	s	s z	Interv.de conf. P = 0.05	
						en %	en g
1er exemple Golden Delicious	25	58	8.7	1.39	16.05	4.2	0.4
	45	63	23.2	2.83	12.20	3.0	0.7
	59	50	31.1	3.01	9.70	2.7	0.9
	78	67	40.3	2.91	7.22	1.7	0.7
	93	54	47.2	4.40	9.34	2.5	1.2
	108	58	54.0	3.79	7.02	1.8	1.0
	119	55	56.3	4.54	8.06	2.1	1.2
	137	54	61.5	4.97	8.08	2.2	1.4
	147	54	62.8	5.34	8.49	2.3	1.5
	151	64	63.1	5.30	8.40	2.1	1.3
	163	60	65.0	4.26	6.56	1.7	1.1
178	59	66.3	4.71	7.11	1.8	1.2	
2e exemple Cox's Orange	25	58	12.0	1.64	13.67	3.6	0.4
	47	50	28.2	2.43	8.64	2.4	0.7
	59	49	34.4	3.49	10.14	2.9	1.0
	78	61	44.2	3.92	8.86	2.2	1.0
	92	54	52.1	4.49	8.61	2.3	1.2
	108	55	57.7	4.19	7.26	1.9	1.1
	119	50	60.8	4.27	7.03	2.0	1.2
	129	53	63.4	4.32	6.82	1.8	1.2
	3e exemple Gravensteiner	31	66	18.1	3.01	16.67	4.1
45		50	30.6	3.83	12.52	3.5	1.1
64		58	45.6	3.80	8.33	2.1	1.0
83		55	58.8	4.82	8.20	2.2	1.3
98		53	65.7	5.22	7.95	2.1	1.5
111		54	70.7	5.96	8.43	2.3	1.6
4e exemple Boskoop	25	50	12.6	1.65	13.20	3.7	0.5
	39	51	28.4	2.67	9.40	2.6	0.8
	59	50	40.7	4.60	11.30	3.2	1.3
	78	67	48.9	3.30	6.76	1.6	0.8
	92	54	56.5	3.58	6.35	1.7	1.0
	105	57	61.9	3.73	6.03	1.6	1.0
	122	51	67.6	4.00	5.91	1.6	1.1
	137	55	71.3	4.15	5.83	1.5	1.1
	147	53	73.0	4.97	6.80	1.8	1.4

Tableau 18, suite

Variété	Nombre de jours après la floraison	N	X	s	s %	Interv. de conf.	
						P = 0.05 en %	0.05 en g
5e exemple Jonathan	29	50	12.0	2.03	17.30	4.8	0.6
	39	50	23.3	3.09	13.28	3.7	0.9
	65	59	34.7	2.67	7.70	2.0	0.7
	80	55	42.4	3.41	8.06	2.1	0.9
	92	52	47.9	3.58	7.48	2.0	1.0
	105	59	52.0	4.25	8.17	2.1	1.1
	122	54	57.7	4.86	8.43	2.3	1.3
	137	60	62.5	4.69	7.50	1.9	1.2
	150	55	64.3	4.68	7.28	1.9	1.3
	157	56	64.4	4.47	6.94	1.8	1.2

Résumé II,5

Le poids moyen des fruits à la récolte ne dépend pas seulement de la disposition génétique de la combinaison de greffe et des influences exercées par l'environnement sur la croissance des fruits. La croissance des fruits présente également des relations complexes avec d'autres phénomènes physiologiques inhérents à l'arbre. Elle est tout particulièrement modifiée par la concurrence à laquelle se livrent les fruits en ce qui concerne les éléments nutritifs. Aussi existe-t-il avec la densité de charge une corrélation non linéaire variable d'une variété à l'autre.

La définition d'un paramètre "poids des fruits" représentatif exige, vu les causes multiples de dispersion, un nombre imposant de données. Outre le pesage, arbre par arbre, des fruits récoltés et le tirage d'échantillons dans les entrepôts, des informations peuvent être fournies sur la corrélation étroite "diamètre / poids des fruits", tant par un échantillonnage des diamètres, pratiqué avant la récolte sur des arbres individuels, que par des résultats de calibrages mécaniques.

Pour réduire, dès la période de végétation, le risque que comporte la prévision du poids des fruits à la récolte, nous avons mis au point un modèle de prévision du diamètre des fruits. Celui-ci se réfère à une courbe de croissance qui peut être valablement définie par une fonction de croissance de MITSCHERLICH. Une comparaison entre les valeurs moyennes obtenues par échantillonnage des diamètres (valeurs effectives) et le paramètre de la fonction de croissance (valeurs théoriques) permet de calculer un coefficient de correction. Le modèle est fondé sur l'hypothèse selon laquelle les différences absolues entre les diamètres des fruits ont tendance à être constantes.

III. Le modèle global et son application

1. "Fonction centrale"

Multiplié par 10, le produit des 3 critères spécifiques du rendement, à savoir le potentiel-arbres, la densité de charge en fruits et le poids moyen des fruits donne directement la charge globale de fruits. Le résultat s'exprime en kilogrammes lorsqu'on calcule d'après la classe d'arbres (k) et en tonnes lorsqu'on se fonde sur le potentiel-arbres (K). Le poids des fruits s'exprime en kilogrammes. Si, par exemple, on a pour un quartier d'un hectare un potentiel-arbres de 3,2, une densité de charge en fruits de 10 et un poids moyen des fruits de 0,100 kg, on obtient

$$K \cdot D_m \cdot G_m \cdot \text{constante} = \text{charge globale de fruits}$$

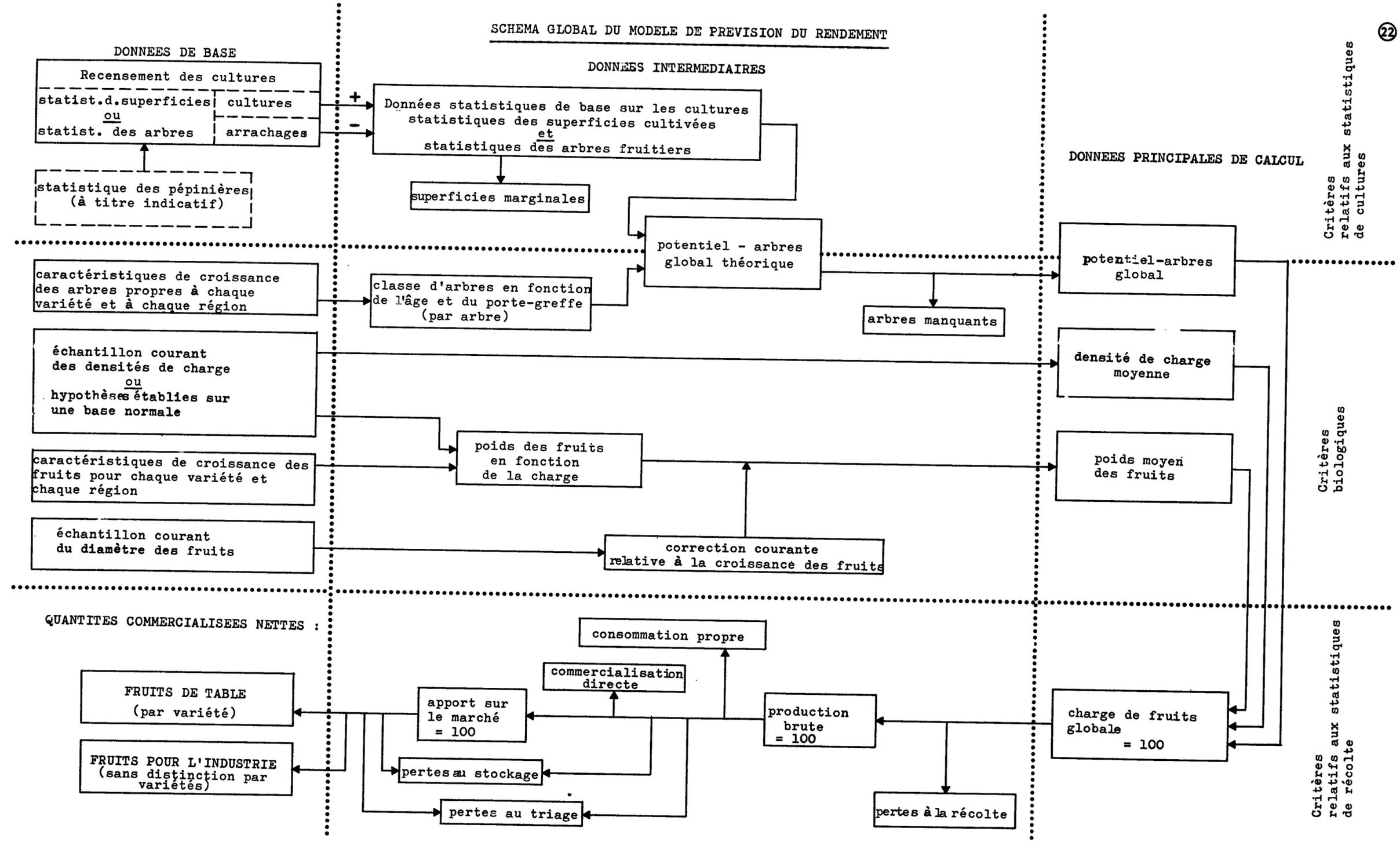
$$3,2 \cdot 10 \cdot 0,100 \cdot 10 = 32 \text{ t.}$$

C'est autour de cette "fonction centrale" du modèle de prévision que s'articulent les opérations de calcul visant à déduire des valeurs initiales les critères spécifiques du rendement, ainsi que les opérations par lesquelles, connaissant la charge globale de fruits, on calcule les quantités qui seront effectivement récoltées et les quantités qui s'écouleront par les différents canaux commerciaux.

Ce flux de données sera expliqué et discuté à l'aide du schéma de la figure 22. Ce schéma se subdivise horizontalement en données de base, données intermédiaires et données de calcul principales, et verticalement en critères relevant de la statistique des cultures, de la biologie et de la statistique des récoltes.

2. Traitement des données statistiques sur les cultures

Lorsqu'il s'agit de petits univers, comme les arbres individuels, les parcelles ou même les exploitations, l'expert qui effectue la prévision courante peut se passer des statistiques culturelles et déterminer directement, sur place, le "potentiel-arbres global". Il évite ainsi les sources d'erreur que pourraient receler, dans un calcul du potentiel-arbres, les fonctions de croissance



déterminées statistiquement. Cela est d'autant plus important pour les petites unités que c'est précisément pour celles-ci que fait défaut l'effet de nivellement exercé par les grands nombres. Pour les prévisions régionales en général, et pour les exploitations également en ce qui concerne la prévision potentielle, la statistique des cultures permet de calculer le potentiel-arbres en tant que fonction du développement des arbres selon leur âge. Nous ne discuterons pas ici de la fiabilité ni du caractère exhaustif des statistiques disponibles sur les cultures fruitières, mais de la forme sous laquelle les données doivent se présenter pour permettre d'atteindre l'objectif visé.

Les données statistiques suivantes, différenciées par "aires de culture écologiques", sont nécessaires au calcul du potentiel-arbres :

- variété
- classe de croissance des porte-greffes
- âge des arbres
- nombre global des arbres
- densité de l'effectif (nombre d'arbres à l'hectare).

Les mêmes critères doivent être retenus, qu'il s'agisse d'une plantation ou d'un arrachage (voir aussi tableau 21 page 113).

L'"aire de culture écologique" a été définie à la page 38. Elle délimite les univers les uns par rapport aux autres. La statistique des cultures doit être suffisamment différenciée pour que les données individuelles puissent être affectées selon les critères cultureux et écologiques.

Nous avons maintes fois expliqué pourquoi les données doivent être différenciées par variété (p. 7, p. 43, p. 63, p. 79).

Etant donné que les porte-greffes donnent au greffon des propriétés très variables en ce qui concerne leur croissance et leur potentiel de fructification (p. 42), il faut au moins distinguer entre porte-greffes à croissance forte, moyenne et faible. Chaque fois que ce critère n'a pas fait l'objet d'un recensement particulier, la classe de croissance probable du porte-greffe est déduite dans le modèle de la densité de l'effectif :

plus de 950 arbres à l'hectare	croissance faible
950 - 451 arbres à l'hectare	croissance moyenne
450 arbres et moins à l'hectare	croissance forte.

Le cas particulier du surgreffage a été étudié en détail au chapitre II,3 page 47. Dans le modèle, ce processus est décomposé en 2 éléments distincts :

- l'élimination de l'ancienne variété est assimilée à un arrachage;
- le greffage de la nouvelle variété correspond à une plantation nouvelle, entraînant des conséquences particulières. On a au mieux tenu compte dans le modèle de l'influence du surgreffage sur la nouvelle variété en considérant qu'il s'agissait d'une plantation nouvelle sur un porte-greffe particulier (voir chapitre II,3 p.48). En raison des conditions de départ plus favorables par rapport aux plantations nouvelles, l'année du surgreffage, qui correspond au demeurant à l'année de plantation, est antidatée d'un an.

L'âge d'un arbre se calcule de la manière suivante :

année de prévision+1- année de plantation.

L'année de plantation est toujours la première année de végétation après la plantation. L'âge d'un arbre correspond au nombre d'années de végétation écoulées depuis la plantation, y compris l'année de prévision.

La statistique des cultures peut inclure alternativement 2 des 3 critères suivants : superficie des cultures, nombre d'arbres, espacements. Dans le modèle, le critère manquant se calcule d'après les deux autres, de même que la densité de l'effectif, nécessaire aux opérations ultérieures.

Abstraction faite de différences eu égard aux critères retenus, les statistiques des cultures peuvent se présenter sous des formes diverses.

Sont directement utilisables pour le modèle les statistiques des cultures dans lesquelles les critères nécessaires apparaissent entièrement ventilés, c'est-à-dire les statistiques qui n'opèrent aucun regroupement en classes d'espacement, classes d'âge, etc. Peu importe en ce cas que les données proviennent d'évaluations individuelles pour chaque parcelle en particulier ou d'une extrapolation à partir d'un recensement représentatif.

Il n'est pas rare néanmoins que les données statistiques relatives aux cultures fruitières soient récapitulées par classes d'âge. Des indications sur les espacements et les porte-greffes font totalement défaut. Vu la fréquence de ce type de statistique fruitière (par exemple Pays-Bas, Chambre agricole de Rhénanie, province de Ferrare), un modèle a été mis au point permettant -grâce à un recensement complémentaire simple- un traitement approché des données, répondant aux exigences du modèle de prévision et opérant avec suffisamment d'exactitude. Expliquons ce modèle par référence à une aire de culture écologique des Pays-Bas (variété Cox's Orange).

Les différentes unités administratives (provinces) étant plus petites que les 4 aires de culture écologiques délimitées par l'auteur aux Pays-Bas, des problèmes particuliers d'affectation géographique se sont posés uniquement pour la province du Brabant septentrional, qui devait être répartie à parts égales entre 3 aires de culture différentes. Lors de son recensement de 1967, le "Ministère de l'agriculture" de La Haye avait distingué 5 périodes chronologiques. Pour l'aire de culture écologique "Région centrale", on a obtenu, après affectation des provinces considérées, le résultat exposé dans le tableau 19 a.

Comme les habitudes culturelles se sont considérablement modifiées au cours des 40 dernières années, ces chiffres couvrent des systèmes de culture fort divers. Aussi l'auteur a-t-il, en interrogeant des conseillers locaux en cultures fruitières, réuni des informations sur la quote-part relative des porte-greffes, ainsi que sur les espacements les plus fréquents par variété et classe de croissance des porte-greffes, pour chacune des 5 périodes chronologiques visées. Le résultat figure au tableau 19 b. Certes, on pourrait imaginer des procédés plus scientifiques que cette méthode d'interview pour obtenir ces informations. Mais tel n'est pas l'objet de la présente discussion. Il s'agit ici de montrer comment il est possible, à partir des données des 2 tableaux 19 a et 19 b, de déduire une statistique détaillée sur les cultures qui réponde aux exigences du modèle de prévision presque aussi bien que le recensement global ventilé.

En divisant par le nombre d'années la somme des surfaces recensées pour chaque période chronologique, on obtient la surface de culture

Tableau 19 a

moenne par année de plantation et période chronologique, les surfaces de culture brutes par période chronologique et unité administrative, pour les 13 provinces néerlandaises et la variété Cox's Orange (extrait des statistiques de culture de l'"Office central de statistiques" de La Haye, 1967).

P r o v i n c e	jusqu'en 1939	Plantations en hectare			
		1940 - 45	1946 - 60	1961 - 63	1963 - 67
1. Groningue	1	6	22	29	23
2. Frise	-	3	10	12	33
3. Drenthe	1	-	2	1	1
4. Overijssel	-	1	10	4	5
5. Geldre	34	82	654	367	358
6. Utrecht	11	41	234	112	87
7. Hollande septentrionale	11	46	199	144	99
8. Hollande méridionale	11	45	310	207	130
9. Zélande	33	51	409	266	286
10. Brabant septentrional	5	23	177	155	191
11. Limbourg	2	15	172	155	138
12. Polder de l'Ijsselmeer	-	1	117	89	188
	109	314	2.316	1.541	1.539
				Total	5.819
				=====	

Pour les calculs, les surfaces de culture des différentes provinces ont été réparties sur les 4 aires de culture écologiques des Pays-Bas, selon une clé de répartition intégrée au programme.

Côte occidentale : 7, 8, 9 et 1/3 de 10

Région centrale : 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 1/3 de 10

Sud-est : 11 et 1/3 de 10

Polder de l'Ijsselmeer : 12

Notre exemple "Région centrale" représente donc 2.328 hectares.

Tableau 19 b

Pourcentages relatifs et espacements moyens des différentes classes de croissance des porte-greffes dans les plantations par période chronologique et région (Cox's Orange)

Période chronologique	Aire de culture	Catégories de porte-greffes	Pourcentage de la surface	Espacements moyens
1. jusqu'en 1939	ouest	moyen	70	8,0 x 8,0
		fort	30	10,0 x 10,0
	région centrale	moyen	50	8,0 x 8,0
		fort	50	10,0 x 10,0
	sud-est	moyen	20	8,0 x 8,0
		fort	80	10,0 x 10,0
2. 1940 - 45	ouest	moyen	70	8,0 x 8,0
		fort	30	10,0 x 10,0
	région centrale	moyen	50	8,0 x 8,0
		fort	50	10,0 x 10,0
	sud-est	moyen	20	8,0 x 8,0
		fort	80	10,0 x 10,0
3. 1946 - 60	ouest	faible	50	4,0 x 2,5
		moyen	50	6,0 x 4,0
	région centrale	faible	5	4,0 x 2,5
		moyen	95	6,0 x 4,0
	sud-est	faible	30	4,0 x 2,5
		moyen	70	6,0 x 4,0
	polder de l'Ijsselmeer	faible	100	4,0 x 2,3
4. 1961 - 63	ouest	faible	90	4,0 x 2,3
		moyen	10	4,5 x 3,5
	région centrale	faible	25	4,0 x 2,5
		moyen	75	4,0 x 2,5
	sud-est	faible	90	4,0 x 2,3
		moyen	10	4,5 x 3,5
	polder de l'Ijsselmeer	faible	100	4,0 x 2,3
5. 1964 - 67	ouest	faible	100	4,0 x 2,0
	région centrale	faible	20	3,7 x 1,8
		moyen	80	4,0 x 2,0
	sud-est	faible	90	3,6 x 1,7
		moyen	10	4,0 x 2,0
	polder de l'Ijsselmeer	faible	100	4,0 x 2,3

Remarque : L'exemple représenté au tableau 20 "région centrale" est encadré.

Année de plantation et période chronologique. Si les plantations nouvelles varient fortement d'une période chronologique à l'autre et s'il arrive que certaines périodes chronologiques couvrent un grand nombre d'années (comme c'est le cas dans l'exemple), on obtient un tracé sommaire de la pyramide d'âge (figure 23, lignes en pointillé), qui doit également entraîner des irrégularités dans la prévision du rendement. Aussi a-t-on recours à ce stade à un programme d'interpolation qui, par une subdivision en 3 parties de toutes les périodes de 3 ans au moins, fournit un échelonnement plus précis, sans modifier les surfaces globales par période chronologique. La figure 23 montre l'effet de cette opération dans l'exemple considéré. L'échelonnement avant l'interpolation figure en pointillé et le résultat de l'interpolation en trait plein. A noter qu'une interpolation ne peut jamais être effectuée que dans le cadre d'une même période chronologique, afin que la superficie globale des plantations nouvelles spécifiée pour cette période soit maintenue. Il est évident qu'on pourrait encore affiner le procédé d'interpolation. Mais les statistiques subdivisées jusqu'à l'année de plantation présentent des irrégularités telles qu'une interpolation trop poussée ne pourrait guère être plus qu'une spéculation.

Aux données ainsi obtenues sur les plantations nouvelles par année on affecte alors proportionnellement les valeurs correspondantes réunies dans le tableau 19 b. Nous en tirons pour notre exemple les données de statistiques culturelles du tableau 20, dont la forme est identique à celle d'un recensement ventilé et qui sont exploitées dans le modèle.

Le schéma du tableau 21 présente de nouveau un aperçu comparatif des données statistiques de base sur les cultures, nécessaires tant pour une statistique entièrement ventilée que pour une enquête récapitulative.

(23)

Ventilation automatique des valeurs d'entrée en matière de statistique
culturelle, avec interpolation pour les différentes périodes chronologiques

ha

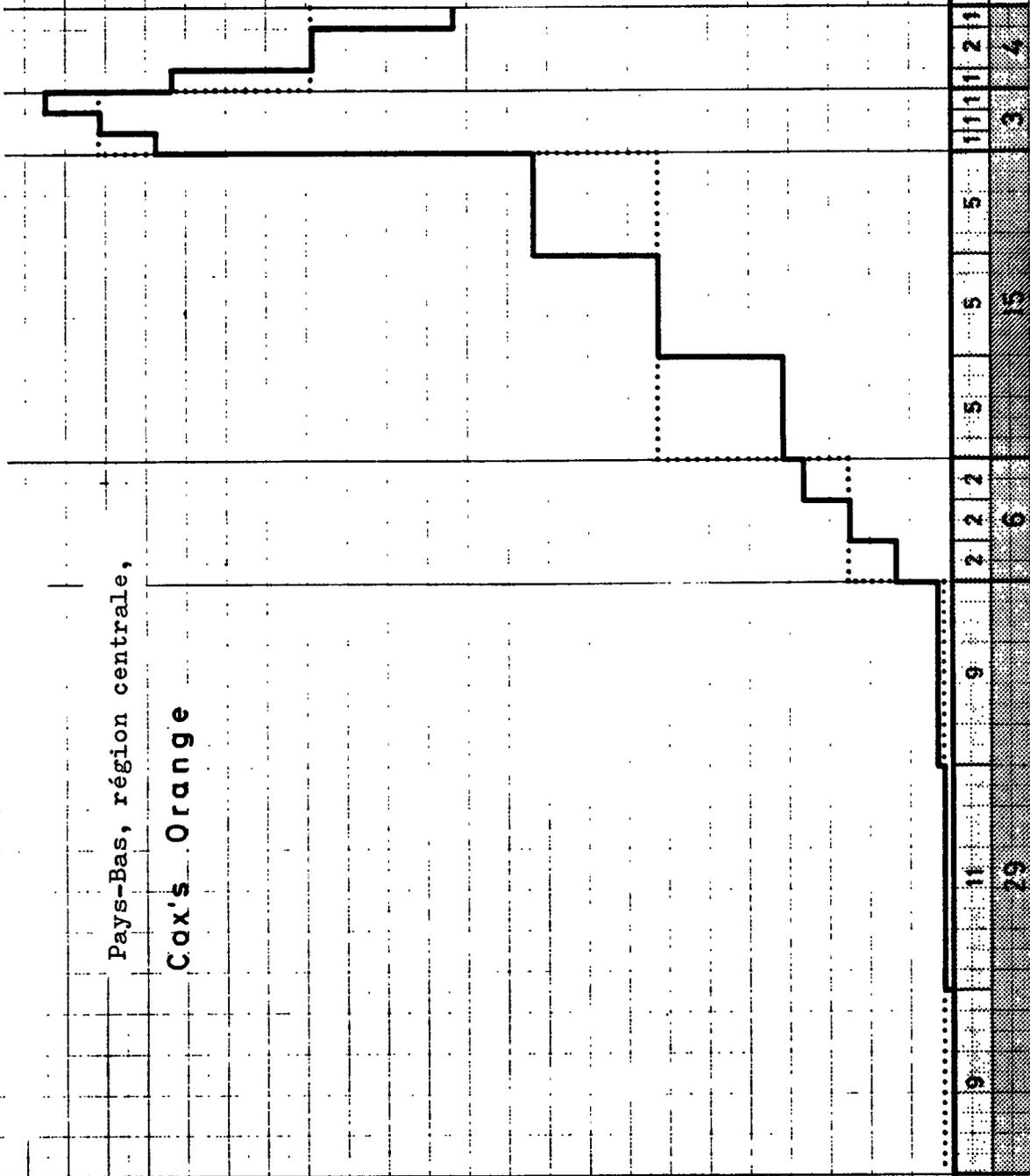
200

100

0

Pays-Bas, région centrale,

Cox's Orange



Années par période chronologique

Tableau 20

Données statistiques de base sur les cultures, destinées au modèle de prévision et calculées d'après les données primaires des tableaux 19 a et b (exemple, Pays-Bas, "région centrale", Cox's Orange, extrait de l'état de tabulatrice de l'ordinateur).

Année de plantation	Superficie brute/ha par classe de croissance des porte-greffes:				Nombre d'arbres par classe de croissance des porte-greffes :			
	faible	moyenne	forte	total	faible	moyenne	forte	total
1ère période chronologique								
1920	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1921	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1922	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1923	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1924	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1925	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1926	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1927	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1928	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1929	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1930	0.00	0.83	0.83	1.67	0	112	72	184
1931	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
1932	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
1933	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
1934	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
1935	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
1936	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
1937	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
1938	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
1939	0.00	1.67	1.67	3.35	0	225	144	369
2ème période ch.								
1940	0.00	6.35	6.35	12.71	0	854	546	1400
1941	0.00	6.35	6.35	12.71	0	854	546	1400
1942	0.00	11.72	11.72	23.44	0	1575	1008	2583
1943	0.00	11.72	11.72	23.44	0	1575	1008	2583
1944	0.00	17.08	17.08	34.17	0	2296	1469	3765
1945	0.00	17.08	17.08	34.17	0	2296	1469	3765
3ème période chronol.								
1946	1.89	36.05	0.00	37.95	1632	12920	0	14552
1947	1.89	36.05	0.00	37.95	1632	12920	0	14552
1948	1.89	36.05	0.00	37.95	1632	12920	0	14552
1949	1.89	36.05	0.00	37.95	1632	12920	0	14552
1950	1.89	36.05	0.00	37.95	1632	12920	0	14552
1951	3.30	62.76	0.00	66.06	2840	22490	0	25331
1952	3.30	62.76	0.00	66.06	2840	22490	0	25331
1953	3.30	62.76	0.00	66.06	2840	22490	0	25331
1954	3.30	62.76	0.00	66.06	2840	22490	0	25331
1955	3.30	62.76	0.00	66.06	2840	22490	0	25331
1956	4.70	89.46	0.00	94.17	4049	32059	0	36109
1957	4.70	89.46	0.00	94.17	4049	32059	0	36109
1958	4.70	89.46	0.00	94.17	4049	32059	0	36109
1959	4.70	89.46	0.00	94.17	4049	32059	0	36109
1960	4.70	89.46	0.00	94.17	4049	32059	0	36109
4ème p.ch.								
1961	44.81	134.44	0.00	179.26	41892	115623	0	157515
1962	48.02	144.08	0.00	192.11	44895	123911	0	168807
1963	51.24	153.72	0.00	204.96	47898	132199	0	180098
5ème p.ch.								
1964	34.81	139.25	0.00	174.06	44953	149694	0	194648
1965	28.63	114.53	0.00	143.16	36973	123123	0	160097
1966	28.63	114.53	0.00	143.16	36973	123123	0	160097
1967	22.45	89.81	0.00	112.26	28994	96551	0	125546
Total	308.16	1926.49	94.66	2329.33	325195	1214300	8141	1547636

Tableau 21

Bases de recensement pour la statistique sur les cultures

Version a	Version b
Enquête détaillée	Enquête récapitulative
Région, critères écologiques *	Région, critères écologiques *
Variété	Variété
Classe de croissance des porte-greffes (le cas échéant déduite des espacements)	-
Année de plantation	Période de plantation (période chronologique de...à...)
Superficie ou nombre d'arbres	Superficie -
Interlignes et espacements	-
Plantations intermédiaires oui - non	-

* Y compris, par exemple, pour les climats à été sec :
possibilité d'irrigation oui - non

Pour la version b, il faut en outre connaître par période chronologique : la part relative des superficies (%) et les espacements moyens par classe de croissance des porte-greffes (voir tableau 19 b, page 111).

Arrachages

Dans l'année au cours de laquelle est effectué un recensement agricole, les arrachages ne jouent aucun rôle, car dans une "photographie instantanée" seuls figurent les effectifs existant réellement à la date du recensement. Aussi la notion d'arrachage ne revêt-elle de l'importance que dans le cadre de la mise à jour jusqu'à l'enquête ultérieure. L'arrachage équivaut pratiquement à une plantation négative. Pour la réduction quantitative et

qualitative correcte d'un univers, on applique les mêmes critères que pour les plantations nouvelles. Le phénomène d'arrachage, dont il est tenu compte dans le modèle, est rendu effectif à compter de l'année de l'arrachage. Celle-ci est la première période de végétation au cours de laquelle la variété arrachée a cessé d'exister. Dans le cas de surgreffages, la variété éliminée est considérée comme ayant été arrachée.

Superficies marginales

Les statistiques officielles des surfaces cultivées sont fondées sur les surfaces brutes. Elles couvrent donc les surfaces affectées à la culture fruitière. Elles englobent notamment les chemins d'exploitation et les tournières à l'intérieur des plantations et, le cas échéant, les coupe-vent. En ce qui concerne le calcul de production toutefois, seule la surface productive, la surface nette, est intéressante. La part des surfaces improductives ne varie pas seulement d'un cas à l'autre mais aussi, en moyenne, d'une région à l'autre. Aussi un coefficient de correction afférent aux superficies marginales improductives a-t-il été prévu dans le modèle pour chaque aire de culture écologique. Il est normalement de l'ordre de grandeur de 0,90. Les paramètres utilisés jusqu'ici sont des valeurs estimatives, qui, généralement, ont été établies en accord avec les institutions officielles compétentes.

Lorsque l'enquête agricole est basée sur le nombre d'arbres, la surface nette peut être calculée directement d'après l'effectif et l'écartement. Divisée par les coefficients de correction, elle donne les surfaces brutes.

3. Calcul du potentiel-arbres

On détermine d'abord, d'après l'année de plantation d'une génération d'arbres d'une variété, d'une classe de porte-greffes et d'un espacement donnés, tel qu'il ressort de la statistique culturale, l'âge qu'ont atteint ces arbres au cours de l'année de prévision considérée.

Puis on déduit à l'aide de la fonction de croissance (voir figure 8) la classe d'arbre correspondant à l'âge recherché, et l'on calcule le potentiel/ha au moyen d'une multiplication par la densité de l'effectif. Si ce potentiel est supérieur au paramètre représentant le potentiel total, la plantation se trouve à l'âge du plein rendement, et le potentiel total est retenu. Enfin, en multipliant par la surface totale nette, on obtient le potentiel-arbres théorique. La somme de tous les potentiels des différentes parcelles et des différentes générations donne le potentiel-arbres théorique global d'une variété dans une aire de culture écologique donnée.

Arbres manquants

Les fonctions de croissance des arbres sont fondées sur des observations relatives à des arbres normalement développés. Les individus malades ou nains, dont le comportement diverge sans équivoque de celui de l'univers, n'ont pas été pris en considération. Aussi le potentiel-arbres est-il d'abord calculé d'après l'hypothèse selon laquelle tous les arbres d'une plantation appartiennent à l'univers des individus ayant un développement normal. En réalité, il se produit un déficit de potentiel, du fait des arbres manquants et des individus nains. D'après nos propres observations, le coefficient afférent aux arbres manquants se situe généralement aux alentours de 0,95-0,90.

Tout porte à croire que le nombre d'arbres manquants augmente au fur et à mesure que l'effectif vieillit et qu'il est donc fonction de l'âge. Nous ne disposons toutefois d'aucun indice suffisant pour en faire la démonstration. Dans les plantations denses modernes en effet, les arbres manquants sont largement compensés par un développement plus poussé de la couronne des arbres voisins, ainsi que par des plantations complémentaires. D'autre part, les déchets sont comparativement élevés au stade des jeunes arbres.

Le nombre d'arbres manquants est également en corrélation avec le degré d'intensité de la culture. Il y a moins de cas de perte et de nanisme dans des régions à culture intensive que dans celles où l'exploitation est moins intensive. Aussi des coefficients

ont-ils été prévus région par région. Au fur et à mesure du perfectionnement du modèle, on pourrait envisager une nouvelle subdivision par variété ou groupe de variétés.

Le coefficient afférent aux arbres manquants revêt une importance particulière dès que se manifestent des influences climatiques extrêmes dont l'extension provoque la perte de nombreux arbres (par exemple, gelée ou dégâts dus à l'asphyxie). Lorsque ces dégâts dépassent la normale, le coefficient doit, le cas échéant, être recalculé sur la base d'une enquête représentative.

Le critère du rendement potentiel-arbres global s'obtient en multipliant le potentiel-arbres global théorique par le coefficient afférent aux arbres manquants.

Etant donné que pour les porte-greffes à croissance faible on prévoit un poids de fruits supérieur de 5 % à celui obtenu avec les autres catégories, la part de potentiel afférente à ces porte-greffes doit être connue pour la détermination du poids des fruits. C'est pourquoi ce pourcentage est également déterminé.

4. Traitement des mesures de densité de charge et d'accroissement des fruits

La densité de charge moyenne s'obtient tout simplement par l'établissement d'une moyenne des échantillons de densité de charge. Si aucun échantillon de densité de charge n'est disponible, comme dans le cas de la prévision potentielle, on se fonde sur la densité de charge normale, complétée par des hypothèses pessimiste et optimiste (plus ou moins 1,5 D ou plus ou moins 3 D de la valeur normale).

Les données relatives aux densités de charge interviennent en outre dans le calcul du poids moyen des fruits. Pour calculer le poids moyen pondéré de fruits d'après la fonction densité de charge/poids des fruits, on effectue à partir de chaque densité de charge la somme $\sum(D \cdot G_D)$, puis on la divise par n_D . Ensuite, on effectue une multiplication par les différents coefficients décrits page 80. Enfin, on tient compte le cas échéant du coefficient de correction de la croissance des fruits en fonction des conditions météorologiques (p. 92 et suivantes) qui, comme nous l'avons exposé, est calculé dans un modèle particulier de prévision du poids des fruits d'après un échantillonnage des diamètres.

5. Coefficients afférents à la récolte et à la commercialisation

Après avoir calculé les trois critères spécifiques du rendement, on peut déterminer la charge de fruits globale. Celle-ci englobe le poids à la récolte de tous les fruits qui se trouvaient sur l'arbre à l'époque de l'échantillonnage des densités de charge. Nous avons examiné en détail (page 58) pourquoi l'on peut supposer qu'il ne se produit aucune perte entre l'échantillonnage des densités de charge et la récolte, si l'on considère les fruits tombés avant la récolte comme faisant partie intégrante de la charge de fruits globale.

5.1 Pertes à la récolte

La part de la charge de fruits globale effectivement récoltée, que l'on peut qualifier de "production biologique", dépend d'un certain nombre de considérations qui ne sont pas seulement d'ordre biologique.

Par "pertes à la récolte", on entend la différence entre la charge de fruits globale et la quantité effectivement recueillie à la récolte, sous forme de fruits cueillis ou de fruits tombés. Cette quantité est qualifiée de production brute.

Le niveau des pertes à la récolte est modifié par des facteurs biologiques, météorologiques et économiques.

Les fruits tombés possédant une valeur marchande sensiblement plus faible que les fruits cueillis, ils ne sont pas entièrement récoltés. Une partie de ces fruits est d'ailleurs dévorée par les souris ou pourrit dès avant la récolte. La part effectivement récoltée des fruits tombés utilisables dépend essentiellement de facteurs économiques courants (coûts/recettes) et est donc difficilement pronosticable d'un cas à l'autre. Dans les grosses exploitations, on ne recueille souvent aucun fruit tombé.

Les pertes à la récolte dépendent donc dans une large mesure du pourcentage de fruits tombés. Celui-ci varie fortement d'une variété à l'autre et fournit donc un certain nombre d'indices permettant d'apprécier les pertes à la récolte variété par variété. C'est ainsi, par exemple, que la part de fruits tombés pour la variété Golden Delicious n'est généralement que de 1 % alors qu'on peut compter avec 10 % et plus pour les Reines des reinettes, les Gravensteiner ou les poires William Bon Chrétien.

C'est à juste titre que Giberti (communication orale) a souligné que la quantité de fruits tombés n'était pas proportionnelle à la charge de fruits globale mais qu'elle augmentait progressivement, le nombre de fruits qui se compriment mutuellement avant la récolte étant d'autant plus grand que la charge est plus dense. Cet effet s'ajoute à la tendance à recueillir les fruits tombés avec moins de soin (ou à ne pas les recueillir du tout) lorsque la charge est abondante.

Les pertes à la récolte doivent comprendre en outre la part de fruits qui, pour des raisons de qualité, ne sont pas cueillis ou sont jetés au sol lors de la cueillette.

La grêle ou la tempête peuvent le cas échéant augmenter sensiblement la part de fruits tombés et les pertes à la récolte.

Pour assurer une ventilation plus nette du modèle, les pertes survenant après que la récolte a été apportée au triage sont comptées parmi les pertes de triage (voir page 122).

Au total, le problème des pertes à la récolte est si complexe qu'on a prévu de lui consacrer un modèle propre. L'auteur n'a pas encore eu la possibilité d'y accorder l'attention voulue. Les coefficients utilisés jusqu'ici sont des valeurs estimatives avec lesquelles il a tenté de représenter approximativement les différences entre variétés. Ces valeurs sont en outre définies région par région, car il semble que dans les régions éloignées des marchés, où le niveau des prix à la production est plus faible et les conditions de transformation plus défavorables, on s'accommode de pertes à la récolte plus élevées que dans les autres régions.

5.2 Le flux de marchandises de la récolte à la commercialisation par les producteurs

Avec le calcul de la production brute, l'objectif primaire du modèle de prévision est atteint, la récolte que réaliseront les producteurs étant chiffrée.

Lors de l'expérimentation du modèle dans diverses régions de culture, notamment dans celle du lac de Constance, il est apparu que les résultats du modèle ne pouvaient être comparés et contrôlés avec les statistiques de commercialisation que lorsqu'il était au moins possible d'apprécier le flux de marchandises depuis le moment de la récolte jusqu'au départ du marché producteur, en passant par l'arrivage sur ce marché.

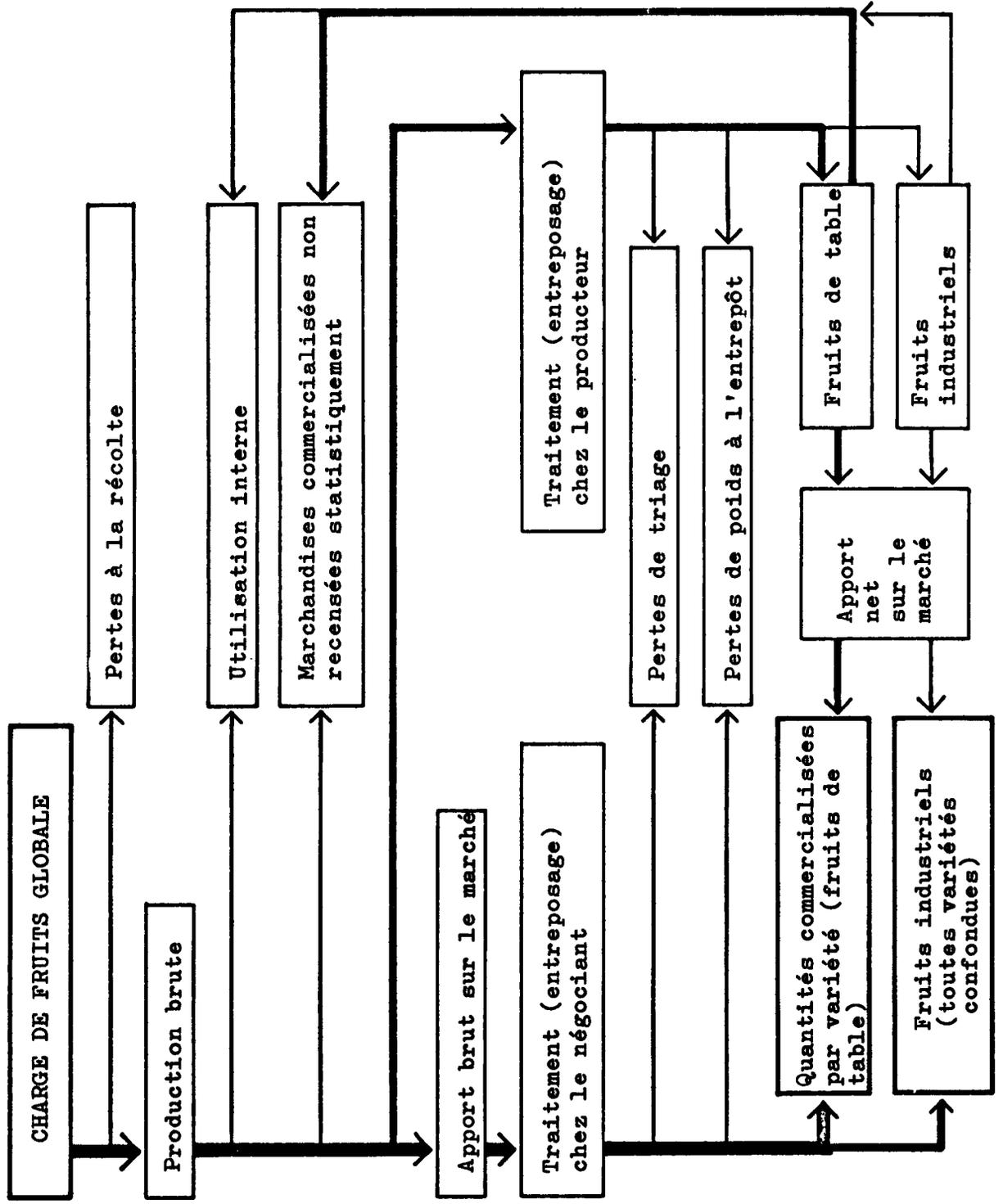
Lors de discussions relatives à ces problèmes, il s'est avéré que même les experts chargés de réunir et d'interpréter les statistiques de production et de commercialisation ne savaient souvent pas exactement ce que les différents chiffres exprimaient en détail.

Le schéma de la figure 25 résume les voies pouvant être suivies par le flux de marchandises dans le domaine considéré.

Un recensement global par région des productions brutes est pratiquement impossible. A la Haye, le Ministère néerlandais de l'Agriculture et de la Pêche essaye depuis peu de déduire ces chiffres de recensements représentatifs.

Les conditions sont plus favorables pour calculer l'arrivage sur le marché d'une région, à condition de prendre garde à un certain nombre de sources d'erreur :

- La marchandise peut être fournie soit telle qu'elle a été cueillie, c'est-à-dire non triée (arrivage brut sur le marché), soit après traitement et éventuellement entreposage dans l'exploitation (arrivage net sur le marché). Les pertes de triage et, le cas échéant, les pertes d'entreposage sont incluses dans la première hypothèse et exclues dans la seconde.
- Lorsqu'ils sont recueillis, les fruits tombés ne sont pas fournis et enregistrés sous la rubrique de la variété correspondante, mais sous la rubrique globale "fruits industriels" (fruits destinés à la transformation).



- La consommation interne et les marchandises commercialisées non recensées statistiquement ne figurent pas dans les statistiques d'arrivage sur le marché.

En ce qui concerne la consommation interne, la part de fruits consommés par les membres de l'exploitation dans l'exploitation elle-même peut être négligée. Elle ne dépassera guère 1 %. Toutefois, si elle comprend aussi la part de la production transformée dans l'exploitation du producteur, on aboutit à des quantités considérables, par exemple dans la région du lac de Constance, où la fabrication d'eau-de-vie de fruits est très répandue. L'ordre de grandeur par variété et année est toutefois difficilement pronosticable car il est très variable, et dépend de la conjoncture.

Quant aux marchandises commercialisées non recensées statistiquement, elles présentent un certain nombre de difficultés particulières. Elles comprennent non seulement les fruits directement vendus du producteur au consommateur, mais aussi la quantité très variable de fruits vendus par le commerce de détail ou certaines entreprises commerciales étrangères à la région, quantités qui échappent aux statistiques régionales de commercialisation. Essayer de chiffrer le tonnage de ces marchandises est d'autant plus difficile que non seulement les quantités en sont très variables, mais que de plus cette variabilité ne repose pas toujours sur une corrélation simple, par exemple avec la demande du moment.

En dépit de ces difficultés, il existe des régions où l'arrivage sur le marché, recensé par la statistique, correspond approximativement à la production brute, par exemple la province de Bolzano. Les possibilités d'écouler les produits par une autre voie que les marchés producteurs y sont très réduites, de même que la consommation interne. Par ailleurs, la quantité de fruits traitée chez les producteurs est pratiquement nulle.

Un exemple contraire est fourni par l'arboriculture fruitière intensive de la Rhénanie du Nord-Westphalie, qui est située à proximité des marchés et où 50 % au moins de la production sont directement commercialisés. Un nombre de facteurs d'insécurité plus grand encore qu'en ce qui concerne le rapport entre la production brute et l'apport sur le marché se manifestent lorsque la production brute doit être mise en relation avec la quantité de fruits de table écoulée par le marché producteur.

Si la marchandise a été entreposée pendant un intervalle assez long, la perte de poids provoquée par la respiration et la transpiration n'est pas négligeable. Elle varie selon la durée de l'entreposage, les conditions d'entreposage et les propriétés variétales. Les conditions biologiques nous sont suffisamment connues grâce à de nombreux travaux relatifs à ce problème (BOER 1963, BÜNEMANN 1963, HILKENBÄUMER 1964, HOHMANN 1965, MATZNER 1964). Des incertitudes résultent toutefois du fait que les conditions d'entreposage régionales moyennes de même que la durée d'entreposage ne peuvent pas toujours être appréciées avec exactitude. Quoi qu'il en soit, les possibilités d'erreur inhérentes à ce facteur devraient être comparativement faibles. A noter qu'il s'agit ici uniquement de la perte de poids et pas de pertes éventuelles dues à la détérioration pendant l'entreposage.

Ces pertes, ainsi que toutes les autres pertes (marchandises non commercialisables) affectant la production brute jusqu'à la commercialisation; sont réunies dans le modèle sous la rubrique pertes au triage. Mais celles-ci, à leur tour, sont difficilement dissociables des fruits industriels (destinés à la transformation), car selon l'état de la marchandise et les possibilités régionales de transformation, la possibilité d'un traitement industriel existe ou n'existe pas. C'est ainsi, par exemple, que dans certaines régions de culture du sud de la France, il n'existe aucune possibilité de transformation des produits n'entrant pas dans la catégorie des fruits de table, et que ces marchandises, considérées ailleurs comme fruits industriels, sont comptées parmi les pertes au triage.

D'autre part, la limite entre fruits de table et fruits industriels est également fluctuante. Plus les conditions d'écoulement sont défavorables et plus les critères de transformation doivent être rigoureux et vice versa. Comme un grand nombre de variétés sont réunies parmi les fruits destinés à la transformation, il est impossible de reconstituer la part de chaque variété dans cette masse anonyme. L'incertitude est plus grande encore en ce qui concerne les pertes de triage, dont on ignore généralement, non seulement la répartition par variétés, mais aussi la quantité globale.

C'est pourquoi les quantités commercialisées par variété figurant dans les statistiques du marché ne présentent pas une relation constante avec la production brute, que ce soit d'une région à l'autre, d'une année à l'autre ou d'une variété à l'autre.

Il s'ensuit malheureusement que les statistiques des quantités commercialisées des différentes variétés -telles qu'elles sont réunies, par exemple, pour les Pays-Bas par l'office central des ventes horticoles à la criée sous la forme de statistiques des arrivages à la criée, ou telles qu'elles sont déterminées depuis des années par JANSSEN pour la région du lac de Constance- n'autorisent que des conclusions approximatives quant aux rendements bruts de ces variétés et ne peuvent donc pas servir à un contrôle, de même qu'inversement les prévisions relatives à ces quantités ne peuvent être considérées sans les plus expresses réserves. Néanmoins, la tentative a été faite d'introduire dans le modèle de prévision non seulement la production brute mais aussi la part de production commercialisée (voir schéma figure 22). L'ajustement est effectué à l'aide de coefficients correspondant à chacun des facteurs considérés, dont on dispose pour chaque variété dans chaque région, de telle sorte que pour n_1 variétés de n_2 régions et pour n_3 facteurs, on obtient $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$ coefficients. Le modèle permet en outre jusqu'à 10 combinaisons différentes de facteurs par région et par variété, eu égard à la situation du marché qui varie chaque année.

Les coefficients utilisés jusqu'ici reposent sur des estimations. Cette partie du modèle présente des lacunes et ne devrait être considérée que comme un premier pas visant à donner un aperçu des différentes corrélations, et à fournir des ordres de grandeur.

Il serait instructif de procéder à une étude détaillée de ces problèmes dans différentes régions en effectuant, par sondages, des analyses du flux des marchandises. Peut-être serait-il possible, si l'on connaissait parfaitement un certain nombre de corrélations, de déduire, non pas de multiples paramètres fixes, mais des fonctions qui traduiraient plus valablement la variabilité des facteurs d'influence possibles.

Pour que les prévisions ou les statistiques de production puissent être comparables, il serait souhaitable qu'on se mette d'accord pour retenir la production brute comme base de travail, et qu'on définisse clairement en conséquence toutes autres indications éventuelles.

6. Schéma d'organisation du modèle en vue d'un traitement sur ordinateur, en l'occurrence IBM 1130

Avec les méthodes de calcul traditionnelles, l'utilisation dans une entreprise ou une région de culture, du modèle de prévision susvisé, exige un temps considérable.

En revanche, un ordinateur de taille relativement modeste est capable de fournir en une à deux heures, variété par variété, les données de prévision relatives aux fruits à pépins de régions entières. Le schéma d'organisation destiné à l'IBM 1130 utilisé par l'auteur est représenté à la figure 24.

6.1 Paramètres de base

Une mémoire externe (disque magnétique) contient la totalité des coefficients (paramètres de base) nécessaires au modèle, pour autant que ceux-ci soient applicables à long terme. Pour accélérer l'accès, ces coefficients sont groupés en :

1. coefficients "génétiques"

Tous les paramètres caractérisant les propriétés génétiques d'une variété sont réunis en une série.

2. coefficients "écologiques"

Tous les paramètres caractérisant les conditions d'écologie et de technique culturale d'une "aire de culture écologique" sont réunis en une série.

DONNEES DE

PARAMETRES COURANTS

dépendant directement ou indirectement
des conditions météorologiques

RECENSEMENT C

la région, la densité de charge
ou le nombre EN FRUITS
tation, les échantillons
greffes, etc.

ACCROISSEMENT
DES FRUITS
échantillons

RECENSEMENT CULTI
des superficies g
ou du nombre d'ar

par variété
région
période
chronologique

programme DENSITES DE CHARGE
ars moyennes de densité
charge
s moyen théorique
ruits

Avant-progr

Superfic
Variété, po
plantation
À partir de

Avant-programme
CORRECTION RELATIVE A L'ACCROIS-
SEMENT DES FRUITS

principal CULTURES ET PRODUCTION

Appel
Calcul coefficients, fonctions de croissance,
Faut- croissance
cultu résultats pour une période de 10 ans
Texte

3. coefficients régionaux propres à chaque variété

Cette série comprend tous les paramètres qui ne sont pas uniquement spécifiques d'une variété ou d'une région mais qui doivent faire l'objet d'une définition particulière pour chaque variété dans chaque région.

En outre, certains paramètres de base, dont on a un besoin fréquent, sont directement introduits avec le programme de calcul dans la mémoire à ferrites.

6.2 Avant-programmes

Si l'on dispose, pour une prévision courante, d'échantillons du diamètre des fruits, on appelle le programme de prévision de l'accroissement des fruits. Ce programme détermine le paramètre de correction de l'accroissement, propre à la variété et à la région, qui est donné prêt à l'emploi dans la mémoire à disques.

Un autre programme préalable traite les échantillons de densité de charge. Valeurs moyennes, intervalles de confiance et un poids moyen pondéré des fruits, déterminé en fonction de la charge (non encore corrigé), sont mis en mémoire pour l'année de prévision considérée, par variété et aire de culture.

Si la statistique des cultures n'est pas disponible sous une forme détaillée mais sous la forme récapitulative visée aux pages 109 et suivantes, le programme principal est précédé du programme de ventilation que nous avons précisé. Celui-ci enregistre sur le disque magnétique les données préparées en vue du programme principal.

6.3 Programme principal

Le programme principal suit en principe le schéma de la figure 22. Les données fournies par les enquêtes statistiques sur les cultures sont lues à partir de cartes perforées ou du disque magnétique. Dès que la variété et l'aire de culture sont repérées, les séries de coefficients afférents sont recherchées et introduites dans la mémoire principale. Par décalage de la pyramide d'âge (y compris

une éventuelle activation à terme des arrachages) il est possible, en une seule opération, d'appeler des calculs de production pour des périodes courant jusqu'à 10 années.

Une région de culture peut être subdivisée en 99 aires de culture écologiques au maximum. Pour chaque aire sont exprimées d'abord les statistiques de culture de chaque variété, puis les statistiques de production correspondantes. Il est tenu compte à cet égard des coefficients de correction relatifs à la croissance des fruits, pour autant qu'il y en ait d'appropriés. De même on recherche également une valeur moyenne ad hoc de densité de charge. Une fois obtenue, celle-ci sert de base au calcul, de même que le poids de fruits approprié calculé dans l'avant-programme et qui est à présent déterminé d'une manière définitive par multiplication par un certain nombre de coefficients. A défaut d'un échantillon des densités de charge, la machine effectue les calculs pour les 5 gammes de densité de charge : faible, moyenne, normale, abondante ou forte.

Une fois terminé le traitement de la dernière aire de culture d'une région, l'ordinateur effectue la somme statistique et présente une statistique de production sous forme d'un tableau récapitulatif.

Après le traitement de la dernière variété, le programme se termine par un tableau récapitulatif relatif à la sorte de fruit.

7. Exemples d'application

Grâce à une mission d'études confiée par l'Office Statistique des Communautés Européennes, les recherches préliminaires en vue de l'établissement de prévisions courantes et potentielles, qui étaient limitées jusqu'en 1965 à la région du lac de Constance, ont pu être étendues à un certain nombre de territoires étrangers. Par suite d'une initiative de la Chambre agricole de Rhénanie des recherches ont pu être effectuées dès 1966 dans la Rhénanie du nord-Westphalie.

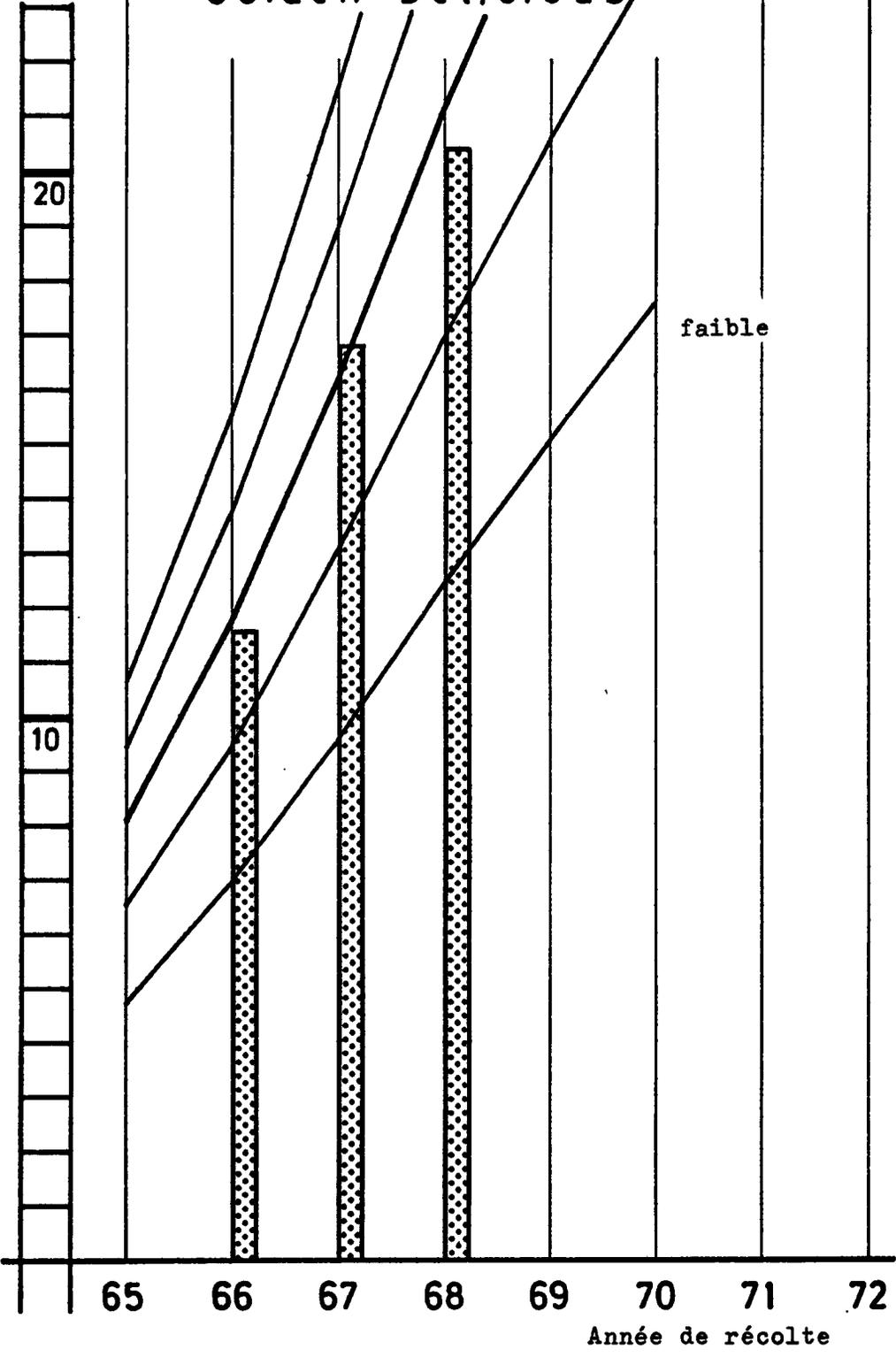
Production
brute
en 1000 to

DIAGRAMME DE PRODUCTION
LAC DE CONSTANCE /

Golden Delicious

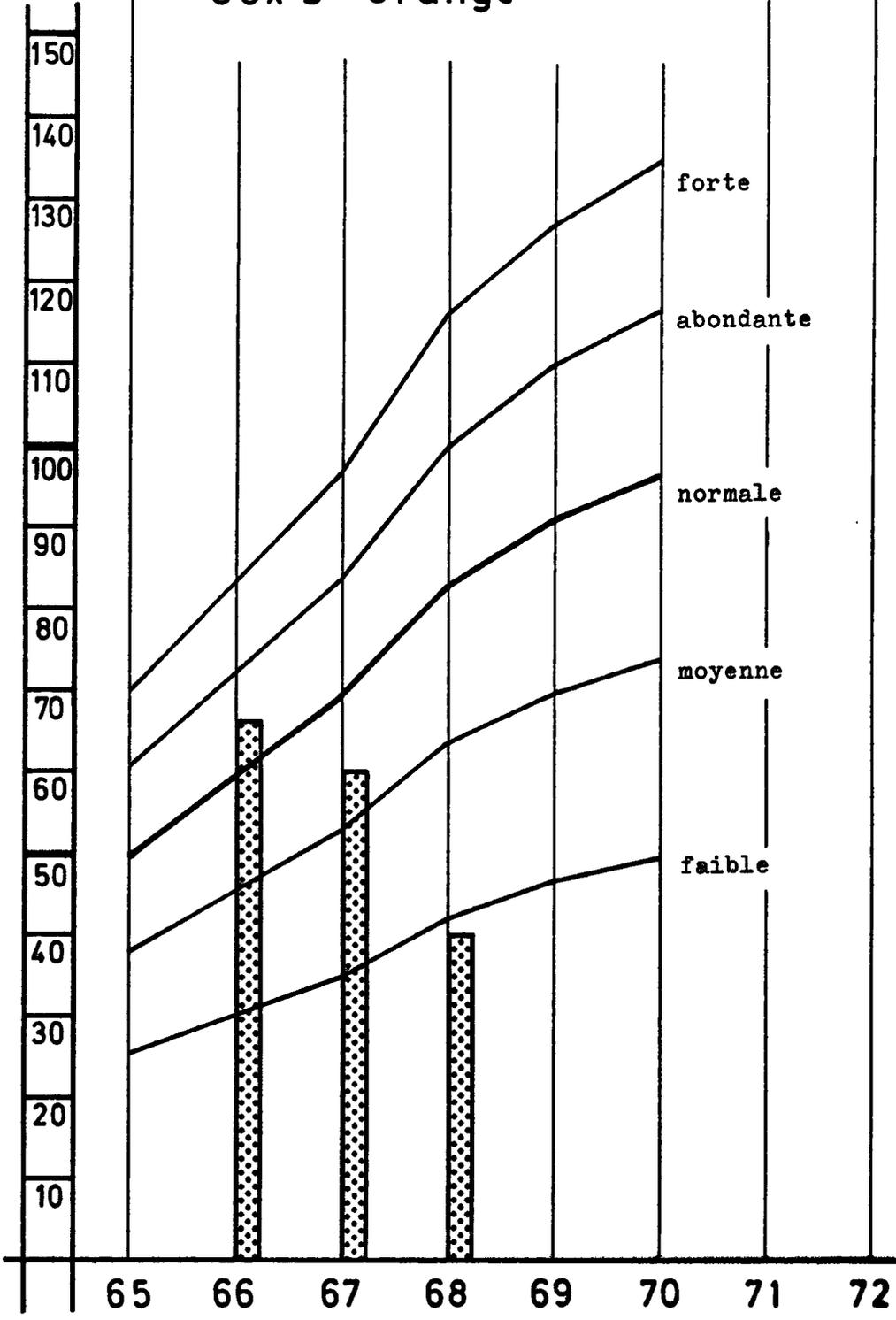
moyenne

faible



Production
brute
en 1000 to

DIAGRAMME DE PRODUCTION
PAYS-BAS
Cox's Orange



Année de récolte

Les premières tentatives de prévision des récoltes annuelles de fruits d'un certain nombre de régions se sont soldées par des résultats dont la concordance avec les statistiques de récoltes faites ultérieurement se situait généralement dans les limites d'erreur qui, pour les raisons exposées ci-dessus, entachent malheureusement ce genre de statistiques.

En 1968, il a été possible, grâce notamment à l'aide efficace de certains organismes nationaux et régionaux, de fournir dès avant la récolte des prévisions de production en matière de pomoculture industrielle pour les pays et régions suivants :

Pays-Bas dans leur ensemble (pommes seulement)

France

Département "Tarn-et-Garonne"

Italie

Province de Bolzano

Province de Ferrare

Allemagne (RF)

Rhénanie du nord-Westphalie

Région du lac de Constance

Les résultats des estimations figurent à la fin du présent travail. Jusqu'ici, l'ordre de grandeur des chiffres estimatifs n'a été mis en doute par personne. Se basant sur ces résultats, l'auteur a pu, dès le début août, alors que le marché des fruits à pépins s'était effondré, formuler cette conclusion, qui n'était nullement évidente à l'époque, que l'automne et l'hiver verraient le rétablissement d'une situation normale dans le domaine des fruits à pépins. Dans l'intervalle, cette prévision s'est réalisée. Néanmoins, la situation au cours de la saison 1968/69 semble n'avoir fait qu'aggraver le danger d'une sous-estimation de la capacité de production, laquelle continuera à s'accroître dans le proche avenir. Les tendances à moyen terme que permet de déduire le modèle ont fait l'objet d'une publication sous la forme d'une analyse¹⁾. L'évolution à moyen terme de la capacité de production d'un certain nombre de variétés dans diverses régions de culture peut être représentée par des "diagrammes de production" dont les figures 26a et b donnent deux exemples.

1) WINTER, F. : Zur Krise im Kernobstbau. - Obst und Garten 87, pages 475 - 481.

En ce qui concerne la variété Cox's Orange pour les Pays-Bas, on voit que les quantités produites au cours des trois dernières années sont en régression, mais que la capacité de production augmente sensiblement. En réalité, seule la succession fortuite d'une récolte record, d'une récolte normale et d'une mauvaise récolte fait croire à une évolution régressive de la production. Le deuxième exemple montre le dynamisme vigoureux de la production de Golden Delicious au lac de Constance, production dont l'ordre de grandeur ne pourrait guère être estimé valablement si l'on ne disposait pas d'un certain nombre de bases de calcul.

8. Perfectionnement du modèle

Dans sa présente forme, le modèle de prévision a atteint un stade de développement qui le rend supérieur à tous les procédés traditionnels, à condition que les données de base requises soient disponibles avec une précision suffisante. Or, on ne peut encore retenir cette hypothèse, même pour les exemples cités ci-dessus. Les coefficients utilisés dans le présent travail et réunis en partie sous forme de tableaux n'ont d'autre prétention que d'être des ordres de grandeur, et devront être plus largement étayés. Ce résultat pourra être atteint d'autant plus rapidement et complètement que des experts et des groupes de travail s'attacheront à la solution de ce problème et que tous les milieux intéressés se mettront d'accord sur des méthodes et des critères de mesure uniformes. Le modèle pouvant être entièrement modifié quant à ses éléments, les critères qui ont été exposés ici ne constituent nullement des éléments invariables du modèle. Au fond, la version actuelle du modèle représente en quelque sorte la conception de base d'un système pouvant être perfectionné progressivement.

C'est ainsi que nous tentons actuellement d'y introduire des éléments nouveaux pour tenir compte de l'incidence de la dimension des arbres sur le poids des fruits, de la relation entre le potentiel total moyen et la densité de plantation et de l'influence de la densité de charge sur l'évolution de la croissance des fruits.

Plus il sera tenu compte de ces détails dans le modèle et plus on améliorera les conditions dans lesquelles ce procédé mathématique

permettra d'aménager au mieux les systèmes de culture en tenant compte des impératifs biologiques. De l'optimisation biologique à l'optimisation économique, le pas est rapidement franchi. Le modèle devrait également pouvoir servir d'élément pour l'établissement des coûts de gestion par référence à une exploitation concrète ou à un modèle de simulation. Les possibilités de variation sont multiples dans ce cas, différentes variétés ou conditions naturelles locales pouvant être prises en considération.

La quantification des facteurs écologiques influençant la croissance, quantification effectuée de façon purement empirique jusqu'ici par référence à certaines aires géographiques précises (encore que délimitées sur la base de critères écologiques) constitue un stade initial encore fort rudimentaire de la différenciation écologique. Cette partie du modèle doit être transformée par degrés en un modèle de fonction rendant compte directement du système ouvert "monde ambiant/plante". La réussite d'une telle entreprise visant à introduire une telle multitude de corrélations dans un complexe quantifiable semble être possible grâce aux ordinateurs, qui peuvent se charger des opérations de calcul proprement dites inhérentes à de tels modèles.

Résumé III

Conformément au schéma global de la fig. 22, le modèle global s'articule autour de la "fonction centrale"

$$\text{charge de fruits globale} = 10 \times \text{potentiel-arbres} \times \text{densité} \\ \text{de charge moyenne} \times \text{poids moyen} \\ \text{des fruits.}$$

Chaque fois que les données de statistique culturelle n'étaient pas suffisamment ventilées, un programme d'affectation et d'interpolation a été mis au point, programme qui, à partir des informations incomplètes, établit les données statistiques de base nécessaires au modèle.

Des difficultés se présentent en ce qui concerne l'estimation des "pertes à la récolte" et du flux de marchandises entre la récolte et la commercialisation (fig. 25) dans les régions de production.

Le schéma de la fig. 24 montre l'organisation du modèle sur un ordinateur IBM 1130.

Les paramètres de base nécessaires au programme principal ainsi que les paramètres courants calculés dans les avant-programmes sont emmagasinés sous leur propre adresse sur disque magnétique et peuvent être recherchés et activés automatiquement, selon les besoins, lors de l'exécution du programme principal. L'exposé se termine par une brève discussion des possibilités de perfectionnement du modèle.

Bibliographie

- ATANASIU, N. u. B. SCHNEIDER: Zur Frage der Gestalt der Ertragskurve. - Z. f. Acker- und Pflanzenbau 121, 334 - 341 (1967)
- BAULE, B.: Ueber die Weiterentwicklung der Ertragsgesetze von Liebig und Mitscherlich. - Z. f. Acker- und Pflanzenbau 96, 173 - 186 (1953)
- BELLMANN, K., G. MEINL u. A. RAEUBER: Mehrjährige phänometrische Untersuchungen an einem größeren Maissortiment in Groß-Lüsewitz. - Der Züchter 34, 273 - 283 (1964)
- BELLMANN, K., G. MEINL, A. RAEUBER, C. PFEFFER u. A. WINKEL: Mehrjährige Untersuchungen über Stoffbildung und Entwicklung des Mais. 3. Mitteilung: Die physiologischen Grundlagen der Ertragsbildung und das Modell des Maiswachstums und seine Variabilität. - Der Züchter 37, 324 - 341 (1967)
- : Mehrjährige Untersuchungen über Stoffbildung und Entwicklung des Mais. - Z. f. Pflanzenzüchtung 58, 105 - 121 (1967)
- BLASSE, W.: Leistungen verschiedener Apfelsorten auf EM-, Malus baddata/prunifolia- und Malus communis-Unterlagen im Hauptertragsstadium. - Archiv f. Gartenbau 13, 235 - 260 (1965)
- BOER, W. C.: Kosten und Verluste bei der Kühlagerung von Kernobst. - Erwerbsobstbau 5, 68 - 71 (1963)
- v. BOGULAWSKI u. B. SCHNEIDER: Die dritte Annäherung des Ertragsgesetzes. - Z. f. Acker- und Pflanzenbau 116, 113 - 128 (1963)
- BROUWER, W.: Die Feld-Beregnung. - Frankfurt (M.) 248 S. (1959)
- BUENEMANN, G.: Untersuchungen über die CO₂-Lagerung der Sorten Jonathan und Golden Delicious. - Erwerbsobstbau 5, 5 - 7 (1963)
- CALVET, C. u. C. MARENAUD: Essai de conservation de pommes en cave, en frigorifique et avec usage de produits antitranspirants. - Rapport général du congrès pomologique de Bordeaux, 221 - 231 (1963)
- CLAWSON, M., C. P. HEISIG, E. B. HURD: Long-term forecasting of fruit and nut production. - Journ. of farm Economics 23, 550 - 566 (1941)
- DELORME, P., HULIN und PETRY: Etude expérimentale sur le rendement des arbres fruitiers. - Cahiers Mensuels de Statistique Agricole 97 (1965)
- DOERFEL, H.: Methodische Untersuchung der Aussagemöglichkeit bei funktional erfaßten Ertragsverläufen. - Biometr. Zeitschr. 6, 73 - 88 (1964)
- FERDINAND, D. u. Z. BACSKAY: Eine Methode zur Schätzung der Obsternte. - Mitt. d. Landw. Hochschule Keszthely 30 S. (1966)

- GEFRIN, H.: Langfristige Wirtschaftsprognose. - Zürich - Tübingen (1964)
- GEIDEL, H.: Zur Genauigkeit von Versuchsergebnissen. - Z. f. Pflanzenzüchtung 39, 438 - 446 (1958)
- : Zur Variabilität der Einzelpflanze. - Z. f. Acker- und Pflanzenbau 106, 49 - 57 (1958)
- GLENN, E. M. and W. S. ROGERS: Recording fruit experiments. - Ann. Rep. E. Malling Res. Stat. 1963, 50 - 55 (1964)
- GOEDEGEBOURE, J.: Kg-opbrengst en boomomvang van enkele appelrassen in het zandgebied van Noordbrabant en Noord-Limburg (gemiddeld 1961 b/m 1963). - Betr. Econ. Vademecum v. d. Tuinb. 8e aanvulling (1965)
- GRUPPE W.: Ueber den Ertragswechsel verschiedener Apfelsorten. - Dt. Gartenbauwiss. 25, 33 - 45 (1960)
- de HAAS, P.-G.: Was wissen wir über neue Apfelunterlagen? - Erwerbsobstbau 4, 221 - 224 (1962)
- und W. HILDEBRANDT: Die Unterlagen und Baumformen des Kern- und Steinobstes. - Grundlagen und Fortschritte im Garten- und Weinbau, H. 116, 224 S., Stuttgart (1967)
- HANAU, A. und E. WOELKEN: Probleme der langfristigen Struktur-Prognose und der Branchenprognosen im Agrarsektor. - Schriften des Vereins für Sozialpolitik 25, 368 - 411, Berlin (1962)
- HENDRICKS, W. A.: Forecasting yields with objective measurements. - Journ. of Farm Econ. 45, 1508 - 1513 (1963)
- HILKENBAEUMER, F.: Obstbau - Grundlagen, Anbau und Betrieb. - 4. Auflage, Berlin/Hamburg, 348 S. (1964)
- : Lagerung von "Golden Delicious" und "Alexander Lucas" in "kontrollierter" Atmosphäre. - Erwerbsobstbau 6, 164 - 167 (1964)
- : Einfluß der Kronenerziehung bei Äpfeln im Vollertragsstadium. - Erwerbsobstbau 6, 41 - 43 (1964)
- und W. SCHRODT: Die Auswirkung einer Zusatzdüngung von Stickstoff auf die vegetative und generative Leistung von Apfelspindeln. - Erwerbsobstbau 7, 85 - 90 (1965)
- HOHMANN, C.: Ueber das Lagerverhalten verschiedener Apfelsorten in Abhängigkeit von unterschiedlich hohen Stickstoffgaben. - Erwerbsobstbau 5, 187 - 188 (1963)
- : Ueber die Fruchtausdünnung mit chemischen Mitteln bei verschiedenen Apfelsorten. - Erwerbsobstbau 7, 69 - 74 (1965)
- HOUSEMAN, E. E. und H.F. HUDDLESTON: Forecasting and estimating crop yields from plant measurements. - Month. Bullet. of Agricult. Economics and Statistics 15 (1966)
- HUDSON, J. P.: Horticultural Implications of long-term weather forecasts. - Proc. 17. Int. Hort. Congr. 4, 63 - 76 (1966)
- JACKSON, J.E.: Variability in fruit size and colour within individual trees. - Ann. Rep. E. Malling Res. Stat. 1966, 110 - 115 (1967)

- JANSEN, J.: Composition du verger intensive belge en 1964. - Min. de l'agriculture, Bruxelles. 64 S. (1965)
- JANSSEN, H.: Ergebnisse der Bodenseeobstmarktbeobachtung
1967/68. - Mitt. f. d. Obstbau, H. 7, 12 S. (1968)
1966/67. - Mitt. f. d. Obstbau, H. 5, 11 S. (1967)
1965/66. - Mitt. f. d. Obstbau, H. 6, 8 S. (1966)
1964/65. - Mitt. f. d. Obstbau, H. 6, 12 S. (1965)
- KARNATZ, A.: Zur Frage des Beginnes der generativen Phase bei Apfelsämlingen. - Gartenbauwiss. 30 (12), 527 - 540 (1965)
- KEMMER, E. und W. STECKEL: Ueber den Zusammenhang zwischen Blüte, Ansatz und Ertrag bei Kernobst. - Erwerbsobstbau 1, 90 - 95 (1959)
- KERSBERGEN, F.: Kg-opbrengst en boomomvang van een aantal appelrassen in Zeeland en de Noordoostpolder. - Bedr. Econ. Vademecum v.d. Tuinb.: 5e-6e aanvulling (1964)
- KOBEL, F.: Lehrbuch des Obstbaues auf physiologischer Grundlage. - 2. Auflage Berlin/Göttingen/Heidelberg, 348 S. (1954)
- LIARD, O.: Quelques données sur la croissance des fruits des variétés de pommier 'Golden Delicious' et 'Cox's Orange Pippin'. - Journée d'étude sur la normalisation, 22 - 34 Gembloux (1966)
- LIEBSTER, G.: Prüfung von Zwischenveredlungen für 'Cox Orangen Renette' auf M IX. - Erwerbsobstbau 6, 108 - 111, 127 - 130 (1964)
- LOEHDEN, A.: Neue Zahlen zur Apfelernte 1967 und eine kritische Auseinandersetzung mit der Erntevorschätzung. - Mitt. OVR Jork 22, 476 - 481 (1967)
- LINK, H.: Ueber einige Erfahrungen mit der Fruchtausdünnung von 'Golden Delicious'. - Erwerbsobstbau 7, 227 - 230 (1965)
- und B. RAUTENBERG: Die Obsternte 1963 an der Niederelbe und ihr Absatz. - Mitt. OVR Jork 19, 411 - 440 (1964)
- : Die Obsternte 1964 an der Niederelbe und ihr Verkauf im Spiegel der Ertrags- und Absatzentwicklung der letzten Jahre. - Mitt. OVR Jork 20, 346 - 385 (1965)
- : Die Obsternte 1965 an der Niederelbe und ihr Absatz. - Mitt. OVR Jork 21, 401 - 423 (1966)
- : Die Obsternte 1966 an der Niederelbe und ihr Absatz unter besonderer Berücksichtigung des Apfels. - Mitt. OVR Jork 22, 413 - 439 (1967)
- LUCKE, R.: Die Blühdaten topophysisch verschiedener Apfelfloreszenzen. - Angew. Botanik 33, 139 - 152 (1959)
- LUSIS, E.: Untersuchungen über das spezifische Gewicht bei Äpfeln und Birnen. - Arch. für Gartenbau 4, 91 - 125 (1958)

- MAINIE, Ph.: Place respective de l'arboriculture industrielle et traditionnelle vers 1975. - Journées F. N. C. E. T. A. 1968 vers l'entreprise agricole de 1975, Etude No. 1274, 12 S. (1968)
- MAINIE, Ph., F. OUDRHIGI, S. CORTOT et M. F. RABOUT: Analyse du comportement des entreprises et prévision de l'offre: L'exemple des fruits. - Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques, Paris, 33 S. (1966)
- MATZNER, F.: Der Einfluß der Fruchtgröße auf den Lagerschwund bei Äpfeln. - Erwerbsobstbau 6, 167 - 170 (1964)
- MAURER, E.: Leistungsvergleich zwischen East Malling-Typen und Dahlemer Klone in Schwäbisch Hall. - Erwerbsobstbau 7, 81 - 85 (1965)
- MOORE, C. S.: The relationship of increment in trunk girth with shoot growth in apple trees. - Ann. Rep. E. Malling Res. Stat. 1965, 115 - 119 (1966)
- : The course of variation in fruit tree experiments. - Journ. of hort. Sci. 43, 121 - 131 (1968)
- MUDRA, A.: Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche. - 336 S. Berlin (1958)
- NEUMANN, D. und U. NEUMANN: Grundsätze der Kronengestaltung beim Apfelanbau. - Obstbau (DDR) 6, 141 - 143 (1966)
- NEUMANN, U.: Die kronengestaltenden Merkmale bei Apfelsorten und ihre Bedeutung für die Ertragskapazität der Krone. - Archiv f. Gartenbau 14, 381 - 385 (1966)
- NEUMANN, D.: Die Struktur der Ertragskapazität von Obstanlagen. - Obstbau (DDR) 7, 3 - 4 (1967)
- ORLANDO, G.: Previsioni delle produzioni agricole italiane 1965 - 1970 - 1975. - Centrostudi di Mercato dell'Istituto nazionale di economia agraria, Milano (1963)
- PARRY, M. S. and W.S. ROGERS: Dwarfing interstocks: Their effect on the field performance and anchorage of apple trees. - Journ. of hortic. Sci. 43, 133 - 146 (1968)
- PARRY, M. S.: Field trials of Malling-Merton rootstocks. - Ann. Rep. E. Malling Res. Stat. 1964, 91 - 96 (1965)
- PEICHL, L.: Die Beziehung zwischen Ertrag und Witterung beim Kernobst. - Z. f. Acker- und Pflanzenbau 95, 233 - 260 (1952)
- PFEFFER, R.: Alternanz und Rhythmus im Rahmen der Vorstellungen über Ertragsverlauf bei Äpfeln. - Erwerbsobstbau 9, 9 - 11 (1967)
- PLATE, R.: Agrarmarktpolitik. - München, 213 S. (1968)
- PLUM: Der Weg zu einer fortschrittlichen Obststatistik. - Zentralblatt für den deutschen Erwerbsgartenbau 19, 4 - 5 (1967)

- PRESTON, A. P.: Scion weight and cropping of Cox's Orange Pippin and Jonathan apples on some Malling and Malling-Merton rootstocks. - Ann. Rep. E. Malling Res. Stat. 1966, 98 - 102 (1967)
- : Apple rootstock studies: Fifteen years' results with some M IX crosses. - Journ. of hort. Sci. 42, 41 - 50 (1967)
- PRESTON, A. P. and J. D. QUINLAN: A fruit thinning experiment with Cox's Orange Pippin apple. - Rep. E. Malling Res. Stat. 1967, 75 - 78 (1968)
- PRODAN, M.: Forstliche Biometrie. - München, 432 S. (1961)
- QUINLAN, J. D. and A. P. PRESTON: Effects of thinning blossom and fruitlets on growth and cropping of sunset apple. - Journ. of hort. Sci. 43, 373 - 381 (1968)
- ROEMER, K.: Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf das Wachstum von Apfelfrüchten. - Mitt. OVR Jork, Beiheft 2, 77 S. (1962)
- : Zur Frage des spezifischen Gewichtes von Äpfeln als Eigenschaftsmerkmal. - Der Züchter 33, 237 - 249 (1963)
- : Einfluß der Temperatur auf die Fruchtform. - Mitt. OVR Jork 21, 248 - 254 (1966)
- : Veränderungen der Fruchtform während des Wachstums. - Mitt. OVR Jork 21, 477 - 484 (1966)
- : Gegen eine Fehlbeurteilung von Ausdünnungsversuchen. - Erwerbsobstbau 9, 144 - 146 (1967)
- : Handausdünnung bei Cox-Orangen-Renette 1966. - Mitt. OVR Jork 22, 189 - 194 (1967)
- : Verteilung von Fruchtgewicht und Fruchthöhe innerhalb der Größenklassen nach der Sortierung. - Erwerbsobstbau 8, 168 - 171 (1967)
- SCHADE, J.: Das Fruchtwachstum an Fruchtästen verschiedenen Alters und sein Einfluß auf die Fruchtqualität bei den Sorten 'James Grieve' und 'Gelber Köstlicher'. - Obstbau (DDR) 8, 150 - 152 (1968)
- SCHMADLAK, J.: Wuchs und Ertrag von Apfelsorten auf Malus baccata/prunifolia-Unterlagen (Dab-Klone) im Zeitraum des ansteigenden Ertrages. - Arch. f. Gartenbau 15, 235 - 248 (1967)
- : Einfluß von Apfel-Unterlagen auf Blütenproduktion und Fruchtansatz. - Arch. f. Gartenbau 15, 131 - 46 (1967)
- SCHNEIDER, B.: Die Bestimmung der Parameter im Ertragsgesetz von E. A. MITSCHERLICH. I. Die Methode der kleinsten Quadrate. - Biometr. Zeitschr. 5, 78 - 95 (1963)
- SCHREIBER, K.-F., F. WELLER, F. WINTER und R. SILBEREISEN: Natur-, betriebs- und marktgerechter Obstanbau. - Obstanbau 78, 7 - 8, 26, 42 - 43, 65 - 66, 82 - 84, 100 - 101, 116 - 117, 133 - 134 (1959)

- SCHUMACHER, R.: Fruchtentwicklung und Blütenknospenbildung beim Apfel in Abhängigkeit von der Blattmasse, unter Berücksichtigung der abwechselnden Tragbarkeit. - Schweiz. landw. Forschung 1, 360 - 449 (1962)
- und F. FRANKENHAUSER: Wirkung chemischer Ausdünnungsmittel bei Golden Delicious auf Berostung, Fruchtansatz und Qualität. - Schweiz. Z. f. Obst- und Weinanbau 103 (76), 290 - 300 und 315 - 324 (1967)
- SILBEREISEN, R.: Beziehungen zwischen Fruchtausbildung, Blatt-Fruchtverhältnis und Wärmeklima bei 'Golden Delicious'. - Gartenbauwiss. 31 (13), 267 - 295, 347 - 379 (1966)
- : über den Einfluß von Blattfläche und Wärmeklima auf die Frucht von 'Golden Delicious'. - Erwerbsobstbau 9, 161 - 165 (1967)
- : über die Wirkung einer Handausdünnung auf die Fruchtqualität bei 'Cox Orangen-Renette'. - Erwerbsobstbau 9, 101 - 104 (1967)
- SPOOR, P. A.: Toelichting kg-opbrengst en boomomvang van appel- en perenrassen. - Bedr. Econ. Vademecum v.d. Tuinbouw: 11e aanvulling (1966)
- STADLER, R.: Der baden-württembergische Obstbau im letzten Jahr des Generalobstbauplanes. - Stat. Monatshefte Bad. Württ. 16, 9 - 16 (1968)
- STAMER, H.: Landwirtschaftliche Marktlehre 1. - Hamburg, 243 S. (1966)
- STENDER, J. A.: Arbeitsprinzipie von Obstsortiermaschinen. - Erwerbsobstbau 6, 30 - 31 (1964)
- STENZ, S.: Ueber die Fruchtgrößenveränderung einiger Apfelsorten und ihre Abhängigkeit von atmosphärischen Umweltbedingungen. - Veröffentlichung d. Inst. f. Agrarmeteorologie u. d. Agrarmet. Observ. K. Marx-Univ. Leipzig, 60 S. (1962)
- STORCK, H.: Marktprognosen im Obst- und Gemüsebau. - Gartenbauwiss. 29 (11), 245 - 259 (1964)
- STOUT, R. G.: Estimating citrus production by use of frame count survey. - Journ. of farm econom. 44, 1037 - 1049 (1962)
- STRECKER, H.: Moderne Methoden in der Agrarstatistik. - Einzelschr. d. deutschen Stat. Gesellschaft, Würzburg, 141 S. (1957)
- THIEDE, G.: Statistik der Obstanlagen und mittelfristige Erzeugungsprognosen. - Ber. über Landw. 65, 308 - 323 (1967)
- TOMCSANYI, P.: Wirtschaftliche Bewertung der Obstsorten und Transformation naturwissenschaftlicher Parameter in ökonomische Meßwerte. - Arch. für Gartenbau 15, 285 - 305 (1967)
- TYDEMAN, H. M. and F. H. ALSTON: The influence of dwarfing rootstocks in shortening the juvenile phase of apple seedlings. - Ann. Rep. E. Malling Res. Stat. 1964, 97 - 98 (1965)

- WALTER, H.: Einführung in die Phytologie, III. - 2. Auflage, 566 S., Stuttgart (1960)
- WANG, J. Y.: Crop prediction without weather forecasting. - Proc. 17. Intern. Hort. Congr. 4, 49 - 62 (1966)
- WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik. - 6. Auflage, 674 S., Stuttgart (1968)
- WEIL, J. E.: Etude Economique de la production fruitière et enquête statistique sur la production des vergers. - Etudes Statistiques 1, 52 S. (1963)
- WEINSCHENK, G.: Die optimale Organisation des landwirtschaftlichen Betriebes. - 205 S., Hamburg - Berlin (1964)
- : Beitrag zur Theorie der Produktionselastizität im landwirtschaftlichen Betrieb. - Diss. Göttingen 1954
- WERTHEIM, S. J.: De vruchtdunning bij appel. - Fruitteelt 57, 545 - 548 (1967)
- WINTER, F.: Gesichtspunkte zur gebietlichen Erntevorschätzung beim Kernobst. - Erwerbsobstbau 8, 34 - 37, 54 - 57 (1966)
- : Studie über methodische Untersuchungen zur Ertragsprognose bei Kernobst. - Sonderdruck Stat. Amt d. Europ. Gemeinschaft. ST/2687/67, 36 S. (1967)
- : Komen en 1968 werkelijk te veel appelen. - Fruitteelt 58, 1220 - 1221 (1968)
- : Zur Krise im Kernobstbau. - Obst und Garten 87, 475 - 481 (1968)
- WIRTH, H.: Methodik und Ergebnisse der objektiven Erntemessung für Äpfel im Bundesgebiet unter besonderer Berücksichtigung Baden-Württembergs. - Erwerbsobstbau 2, 147 - 150 (1960)
- : Die Lage des Baden-württembergischen Landbaues in der Endphase der Eingliederung in die EWG. - Jahrb. f. Statistik und Landeskunde von Baden-Württemberg 11 (1967)
- ZELLER, O.: Beginn des Blütenimpulses in den Knospen unserer Obstgehölze. - Der Obstbau 78, (1960) 79 (1961), Sonderdruck, 12 S.
- : Ueber die Jahresrhythmik in der Entwicklung der Blütenknospen einiger Obstsorten. - Gartenbauwiss. 23 (5), 167 - 181 (1958).

INFORMATIONS INTERNES DE LA STATISTIQUE AGRICOLE

Série «Études de Statistique Agricole»

Pour autant que le permette le tirage, les brochures de la présente série sont mises à la disposition des personnes intéressées aux différents thèmes traités. Les demandes sont à adresser comme suit : Direction «Statistique Agricole», Office Statistique des Communautés Européennes – B.P. 130 – Luxembourg.

	Année	Langues
N° 1 Influence des différents caractères de la carcasse de bovins sur la détermination de son prix – B.L. DUMONT, J. ARNOUX	1968	F
N° 2 Méthodes statistiques en vue de déterminer le potentiel de production des vergers – G. NEURAY, S. MASSANTE, M. PETRY	1968	D, F
N° 3 Méthodologie d'une enquête sur la structure des exploitations horticoles professionnelles – H. STORCK	1968	D ¹⁾
N° 4 Étude sur les qualités des carcasses de bovins en France – B.L. DUMONT	1969	D, F ²⁾ , N
N° 5 Méthode des densités de charge, modèle d'analyse et de prévision de la production de fruits à pépins – F. WINTER	1969	D, F

¹⁾ La version française est en voie de réalisation.

²⁾ La version française a été publiée dans le n° 4/1967 des «Informations Statistiques» de l'Office Statistique des Communautés Européennes.

