

ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES D'OUTRE-MER

Classe des Sciences naturelles et médicales

Mémoires in-8°, Nouvelle Série, Tome 21, fasc. 3, Bruxelles, 1986

# Le Kivu montagneux

Surpopulation – Sous-nutrition – Érosion du sol  
(Étude prospective par simulations mathématiques)

PAR

**W. WILS, M. CARAËL et G. TONDEUR**

avec avant-propos de

**H. L. VIS**

KONINKLIJKE ACADEMIE VOOR OVERZEESE WETENSCHAPPEN

Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen

Verhandelingen in-8°. Nieuwe Reeks, Boek 21, afl. 3, Brussel, 1986





ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES D'OUTRE-MER  
Classe des Sciences naturelles et médicales  
Mémoires in-8°, Nouvelle Série, Tome 21, fasc. 3, Bruxelles, 1986

# Le Kivu montagneux

Surpopulation – Sous-nutrition – Érosion du sol  
(Étude prospective par simulations mathématiques)

PAR

**W. WILS, M. CARAËL et G. TONDEUR**

avec avant-propos de

**H. L. VIS**

KONINKLIJKE ACADEMIE VOOR OVERZEESE WETENSCHAPPEN  
Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen  
Verhandelingen in-8°. Nieuwe Reeks, Boek 21, afl. 3, Brussel, 1986

---

Mémoire présenté par M. H. VIS à la séance de la  
Classe des Sciences naturelles et médicales tenue  
le 28 avril 1981

Rapporteurs: MM. C. DONIS, C. SYS et H. VIS

---

Publication décidée par la Classe des Sciences  
naturelles et médicales en sa séance du 22 juin 1982

---

Texte définitif déposé le 13 décembre 1985

ACADÉMIE ROYALE  
DES  
SCIENCES D'OUTRE-MER

Rue Defacqz 1 boîte 3  
B-1050 Bruxelles  
Tél. (02) 538.02.11

KONINKLIJKE ACADEMIE  
VOOR  
OVERZEESE WETENSCHAPPEN

Defacqzstraat 1 bus 3  
B-1050 Brussel  
Tel. (02) 538.02.11

D/1986/0149/6

## TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos .....	7
Introduction .....	25
<b>PREMIÈRE PARTIE. — Description de la région étudiée, le Kivu montagnueux</b> .....	29
I.1. Situation géographique .....	29
I.2. Les sols .....	31
I.3. Le climat .....	33
I.4. Le peuplement .....	34
I.5. La démographie .....	35
I.6. L'agriculture coutumière .....	39
I.7. Malnutrition, disettes et famines .....	47
I.8. Amélioration de l'agriculture coutumière .....	54
I.9. Les aspects économiques .....	58
I.10. Synthèse .....	61
<b>DEUXIÈME PARTIE. — Étude de l'évolution de la région par simulation mathématique</b> .....	65
II.1. Les hypothèses de base .....	65
II.2. Les interactions fondamentales .....	67
II.3. Les simulations .....	73
II.4. Conclusions .....	97
II.5. Extension au Rwanda .....	101
<b>ANNEXE I. — Le langage Dynamo</b> .....	121
<b>ANNEXE II. — Description du modèle</b> .....	127
1. Introduction .....	127
2. Le secteur population .....	128
3. Le secteur production .....	148
4. Le secteur dynamique des sols .....	159
5. Application du modèle — Subdivision de la région en deux zones .....	171
<b>ANNEXE III. — Liste des équations</b> .....	183
<b>ANNEXE IV. — Liste des abréviations</b> .....	191
<b>Bibliographie</b> .....	197





Surpopulation. (Photo citoyen MUTIMA).



Érosion des sols. (Photo citoyen MUTIMA).





## Avant-propos

Sous la responsabilité des membres de l'équipe de la mission médicale du CEMUBAC <sup>(1)</sup> au Kivu, un rapport préliminaire intitulé: «Le Kivu montagneux, Surpopulation, Sous-nutrition, Érosion du Sol» avait été soumis au cours de l'année 1976, non seulement aux autorités à Kinshasa, mais également à celles de la région du Kivu et à la direction de l'Administration Générale de la Coopération au Développement à Bruxelles. À ce rapport était jointe une annexe concernant le Rwanda, pays voisin où la situation nutritionnelle était très comparable à celle du Kivu de montagne. Les autorités du Rwanda, au plus haut niveau, reçurent également plusieurs exemplaires du rapport.

Le but du travail effectué avait été défini dans un avant-propos que nous reproduisons *in extenso*:

La mission médicale du CEMUBAC qui œuvre au Kivu, est confrontée avec un important problème de santé publique: la malnutrition protéo-calorique qui atteint surtout les enfants et les femmes enceintes et allaitantes. L'on estime à l'heure actuelle que la malnutrition est présente d'une façon manifeste chez 10 à 15% de la population. Tout porte à croire que, dans cette région du monde, la malnutrition est la conséquence d'une poussée démographique importante, au sein d'une population vivant dans un système économique proche de l'auto-subsistance.

Bien que l'on ne dispose pas de chiffres absolus, il semble que le nombre d'individus en malnutrition augmente au fil des années. En effet, les statistiques publiées par les organismes officiels montrent, depuis plus d'un quart de siècle, une nette augmentation du nombre de cas enregistrés. Mais les chiffres sont peu fiables pour plusieurs raisons:

- En Afrique centrale, le personnel médical n'a eu l'attention attirée sur la malnutrition (et ne s'est donc mis à en poser couramment le diagnostic) qu'après la publication du rapport de Brock et Autret (1952);
- Il y a 20 ou 25 ans, l'enregistrement des cas de malnutrition était souvent fait par du personnel auxiliaire peu au courant de ce qui, à l'époque, était encore une «nouveau-té»: la malnutrition protéo-calorique;
- Seuls ont été enregistrés les malades qui se sont présentés aux forma-

---

<sup>(1)</sup> Centre Scientifique et Médical de l'Université Libre de Bruxelles pour les Activités de Coopération.

tions sanitaires. L'expérience montre que ce sont les cas les plus graves;

- Déjà en 1953-1954, certains médecins avaient l'impression que la malnutrition endémique augmentait considérablement;
- Finalement, dans les régions où existaient auparavant des famines périodiques, la malnutrition endémique devait certainement exister.

Il nous semble opportun, avant tout, de définir ce que les nutritionnistes entendent par le terme « malnutrition ».

La malnutrition est la conséquence d'un bilan alimentaire négatif. Mais il est nécessaire d'en distinguer deux formes très différentes: d'une part, la malnutrition relative et, d'autre part, la malnutrition vraie.

### 1. La malnutrition relative

L'état de malnutrition relative est défini par comparaison à l'état dans lequel se trouvent des individus d'une population qui, depuis plus d'une génération, ont un apport nutritionnel estimé meilleur que d'autres ou qui ont un apport jugé optimal. Cet apport nutritionnel optimal en énergie et en protéines a été défini par la F.A.O. et l'O.M.S. (1973) en se basant sur des normes décrites aux États-Unis en ce qui concerne les caractéristiques biologiques (croissance, poids, taille, taux sanguin des protéines).

Les individus d'une population soumise durant plusieurs décennies à un apport nutritionnel insuffisant par rapport aux normes, présentent des phénomènes d'adaptation caractérisés par:

- Un ralentissement du rythme de la croissance, ce qui aura comme conséquence que le poids et la taille moyens des individus adultes seront déficitaires par rapport aux potentialités de la population envisagée;
- Une production de travail, c'est-à-dire une utilisation d'énergie réduite.

### 2. La malnutrition vraie

Les états de malnutrition vraie sont ceux qui se caractérisent par des symptômes cliniques ou biologiques. Il est de règle de subdiviser en santé publique, ces états de malnutrition en différentes catégories:

- La dénutrition globale qui conduit au marasme;
- La malnutrition protéique pure ou kwashiorkor;
- Les avitaminoses;
- Les carences en sels minéraux ou en minéraloïdes [certaines anémies (le fer) ou le goître (l'iode)];
- Les états de malnutrition secondaires aux infections, aux parasitoses intestinales et/ou au paludisme.

Dans les pays en voie de développement, il est rare de rencontrer une forme pure de malnutrition: il y a presque toujours mélange (ce qui ne veut pas dire que l'un ou l'autre état ne puisse pas prédominer dans le tableau clinique), si bien que, dans la littérature, on ne dissocie plus,

par exemple, la dénutrition globale de la malnutrition protéique et l'on englobe le tout sous le vocable de malnutrition protéo-calorique (M.P.C.) ou malnutrition protéo-énergétique (M.P.E.). Comme, en outre, des avitaminoses et des carences diverses en minéraux sont associées à la malnutrition protéo-calorique, les auteurs d'Amérique centrale utilisent préférentiellement le terme de « maladie pluricarentielle ».

La dénutrition globale conduira au marasme par la disparition progressive du pannicule adipeux et la perte d'une partie des tissus actifs. L'organisme en dénutrition passera au travers de divers stades cliniques, sans limites bien tranchées, qui sont l'hypotrophie, l'athrepsie et finalement le marasme. C'est donc l'état de maigreur de l'individu qui en détermine le stade clinique: ainsi par exemple, la disparition de la boule de Bichat est le stade extrême de cette évolution et caractérise le marasme. L'état de dénutrition globale a été obtenu expérimentalement chez l'homme par Keys, Brozek et leurs collaborateurs à Minneapolis (1950). Les patients adultes avec œdème de famine que l'on pouvait observer dans les régions occupées de l'Europe durant la dernière guerre mondiale, étaient également, pour la plupart, des cas de marasme.

Le kwashiorkor pur se manifeste chez les enfants, les femmes enceintes et allaitantes, qui reçoivent une alimentation dont l'apport énergétique est soit normal, soit élevé mais dont l'apport protéique est nettement insuffisant; chez ces individus apparaîtront souvent brutalement des œdèmes importants, mais, par contre, il n'y aura pas de fonte du pannicule adipeux. Le kwashiorkor pur concerne des enfants africains à l'âge du sevrage tels ceux décrits par Brock et Autret dans leur rapport de 1952; il concerne également les « Sugar babies » étudiés par Jelliffe à la Jamaïque (1955).

En Afrique noire, il y a toujours une composante prépondérante de malnutrition protéique dans toutes les formes de malnutrition qui, dès lors, sont désignées dans les régions sous le vocable de « kwashiorkor ». Les formes de malnutrition telles qu'elles règnent au Kivu ont été décrites par ailleurs <sup>(2)</sup>.

La mission médicale du CEMUBAC est présente au Kivu depuis une quinzaine d'années. Elle s'est tout particulièrement intéressée aux problèmes de malnutrition. Les observations et les études qu'elle a pu réaliser démontrent à suffisance que les cas de kwashiorkor sont en augmentation: non seulement un nombre considérable d'enfants, mais également de mères allaitantes, en sont atteints.

Au Kivu, la malnutrition n'est pas due à l'ignorance. L'on ne doit donc pas espérer que des mesures de santé publique, telle que l'éducation sanitaire ou nutritionnelle ou telle que le développement d'une infrastructure de protection maternelle et infantile, puissent influencer le cours des choses d'une façon profonde. Ce n'est pas non plus l'introduction tendant à obtenir une limitation des naissances qui peut être une solution valable.

C'est parce que nous étions convaincus de la nécessité d'envisager la situation nutritionnelle en Afrique centrale interlacustre d'une façon globale que nous avons demandé la réalisation d'une étude prospective.

<sup>(2)</sup> VIS, H. L. 1983. Les complications fréquemment mortelles de la malnutrition protéique et énergétique de l'enfant. — *Bull. Mém. Acad. r. Méd. Belg.*, 138: 283-299.

M. W. Wils a bien voulu se charger de cette mission; il a dirigé l'élaboration du présent travail qui est une étude prospective, par simulations mathématiques, du Kivu montagneux. Il a été aidé, d'une part, par M. M. Caraël qui, pendant trois ans, a étudié au sein de la mission du CEMUBAC les problèmes démographiques de la région et, d'autre part, par M. G. Tondeur qui a une connaissance toute particulière de la situation agronomique du Kivu montagneux.

Le travail de cette équipe pluridisciplinaire a débouché sur des conclusions peu optimistes. Mais l'impression de l'équipe médicale est que l'évolution réelle de la situation pourrait être encore plus fâcheuse que celle décrite par la théorie. Dès lors, la section médicale du CEMUBAC prend la responsabilité entière des affirmations du présent travail.

Le fait que par le Règlement n° 1436/76 du 18 juin 1976, le Conseil des Communautés Européennes ait décidé l'envoi de vivres au Kivu, ne serait-il pas le premier signal d'alarme à l'échelle internationale?

Août 1976

L'on peut se demander s'il est utile ou opportun de diffuser une dizaine d'années plus tard le même rapport sous la forme d'une monographie? Nous avons pensé devoir répondre par l'affirmative à cette question parce que d'un côté nous avons depuis 1976 installé au Kivu un système permanent de surveillance de la situation nutritionnelle auprès des populations impliquées et que d'autre part, au Kivu, nous avons pu tester certaines hypothèses de base qui ont servi aux calculs prospectifs par dynamique de système, notamment en ce qui concerne la poussée démographique. Il a également été possible d'évaluer les implications qu'ont eues certaines mesures prises au Kivu d'altitude et au Rwanda. Nous avons donc eu l'occasion de rassembler des éléments permettant de confirmer, d'infirmer, ou encore de nuancer non seulement les hypothèses de base mais également les conclusions du rapport de 1976.

### **1. Définition de la forme de malnutrition existante au Kivu de montagne**

Les études que notre groupe a réalisées au Centre clinique de l'IRS<sup>(3)</sup>, ont permis de caractériser d'une façon exhaustive la forme de malnutrition qui y prévaut. Il a été donc répondu au point 2 de l'avant-propos de 1976. Plusieurs travaux ont été publiés à ce sujet<sup>(4)</sup>. Il s'agit d'une forme de malnutrition dont la composante la plus importante est représentée par la carence en protéines mais elle s'accompagne également d'un certain degré de marasme.

---

<sup>(3)</sup> IRS: Institut de Recherche Scientifique (Zaire).

<sup>(4)</sup> VIS, H. L. 1983. *Op. cit.*

En outre, il existe des indications nettes qui démontrent la présence d'avitaminoses (dont surtout l'avitaminose A), de carence en iode, localisée dans certains territoires (comme au nord de l'île Idjwi et à la presqu'île de Minova), de carence en cuivre, en zinc et en sélénium sur presque toute l'étendue de la zone investiguée. En réalité, en Afrique centrale, dès la vie fœtale, les individus sont soumis à un environnement défavorable tant du point de vue nutritionnel que du point de vue infectieux. Toute leur croissance sera un compromis plus ou moins équilibré entre le milieu et le potentiel de croissance. Ceci est démontré par l'allure particulière de la courbe de poids (fig. 1).

Dans les milieux ruraux traditionnels et pauvres des pays en développement, la courbe de poids et de taille est très différente de celle adoptée pour les pays industrialisés. En effet, la courbe de croissance montre qu'il existe dès la vie fœtale un retard par rapport aux courbes déterminées aux États-Unis et en Europe. En conséquence, le poids de naissance est dans les milieux défavorisés du tiers monde systématiquement de 0,3 à 0,5 kg au-dessous de ce qu'on observe au niveau des courbes de «référence». Durant les premières semaines de la vie, il existe un certain «rattrapage» vers la courbe de référence

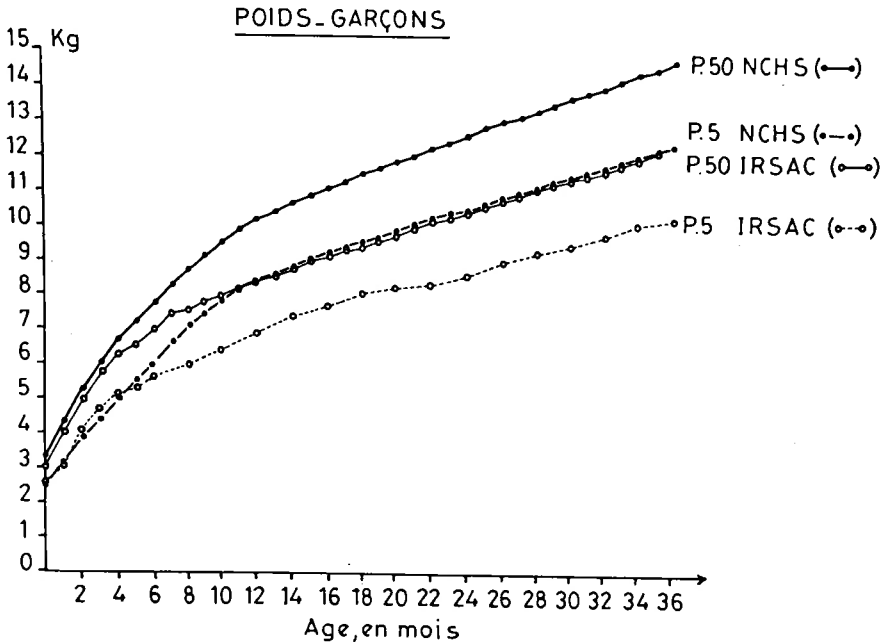


FIG. 1. — Courbe de poids des garçons du Kivu d'altitude (région de Lwiro) en comparaison avec la courbe internationale de référence. On remarquera l'allure différente que prend la courbe du Kivu à partir du 4<sup>e</sup> au 6<sup>e</sup> mois de vie. Dès l'âge d'un an le percentile 50 de la courbe locale suit le percentile 5 de la courbe de référence. Il faut en déduire que 50% de la population est en «malnutrition relative».

mais, très rapidement, la courbe des pays en voie de développement s'infléchira entre le 3<sup>e</sup> et le 6<sup>e</sup> mois de vie pour rester bien au-dessous de ce qui est considéré internationalement comme normal. Il en découle que pour le seul critère anthropométrique du poids par exemple, 50% de la population devrait être considérée comme étant en malnutrition, puisque le percentile 50 de la courbe locale suit à partir d'un certain moment le percentile 5 de la courbe de référence. Nous avons appelé cette situation la « malnutrition relative ». Celle-ci se définit par rapport à l'état dans lequel se trouvent des individus qui, depuis plus d'une génération, ont un apport nutritionnel et vivent dans un environnement (hygiène du milieu) estimés meilleurs que pour la population investiguée ou qui vivent dans une situation nutritionnelle et d'hygiène jugée optimale. Dans ce contexte défavorable, la croissance est plus lente et la maturation des différents tissus se fera à un âge chronologique plus tardif: il en est ainsi, par exemple, pour la puberté. Celle-ci accuse chez les filles un retard de quatre ans par rapport à l'Europe occidentale. L'âge moyen de la ménarche chez les filles est de 16 ans en Afrique centrale rurale, ce qui doit être comparé à l'âge moyen de 12 ans pour l'Europe occidentale.

Ainsi donc, la petite taille et le petit poids peuvent être considérés comme une adaptation de la croissance à l'environnement. Ces phénomènes ne sont pas uniquement la conséquence d'un apport nutritionnel qualitativement et/ou quantitativement insuffisant, mais également l'adaptation à une malabsorption digestive qui découle de la présence, après l'âge de 2 ans, de lésions plus ou moins importantes de la muqueuse intestinale. Ce fait est décrit, dans la littérature spécialisée, sous le vocable « d'entéropathie tropicale » ou de « sprue tropicale ». Il s'agit d'une situation généralisée, secondaire aux infestations parasitaires et aux infections virales et microbiennes du tube digestif. Au vu de la figure 1, l'on peut affirmer qu'au moins 50% de la population rurale des régions étudiées dans le présent travail se trouve être en « malnutrition relative ».

Dans les statistiques qui seront mentionnées plus loin, nous ne tenons pas compte de la malnutrition relative mais seulement de la malnutrition vraie, caractérisée comme telle par rapport à l'ensemble de la population rurale, considérée comme normale. Au Kivu d'altitude, la malnutrition frappe surtout les enfants âgés de 2 à 6 ans, c'est-à-dire après le sevrage complet. La protection apportée par l'allaitement maternel est manifeste tant du point de vue de la morbidité que de la mortalité jusqu'à l'âge de 2 ans. Mais ceci ne signifie pas que la malnutrition ne se manifeste pas chez les adolescents ou chez les adultes (fig. 2 et 3).

Un autre groupe vulnérable de la population est représenté par les femmes au cours de la période féconde de leur vie qui est une succession de grossesses et d'allaitements. Comme nous le verrons plus loin, chez la femme s'ajoute à l'activité de reproduction une activité de production très contraignante: l'entretien du ménage et le travail aux champs. La femme de par ces faits, représente la partie la plus vulnérable de la population.

En conclusion, sur les hauts plateaux d'Afrique centrale interlacustre, la malnutrition se présente sous la forme d'une maladie polycarentielle pour

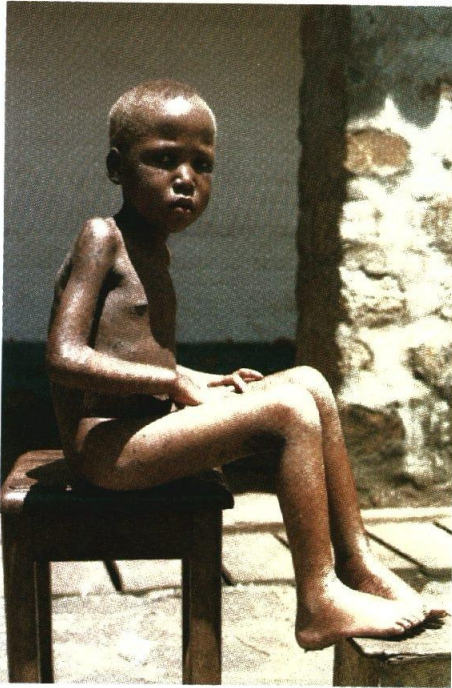


FIG. 2. — Aspect de la malnutrition au Kivu de montagne. La malnutrition est non seulement la conséquence de carences énergétiques et protéiques, mais également de la carence en certains oligo-éléments (cuivre, zinc, sélénium,...), ainsi que de l'impact de l'environnement infectieux et parasitaire (Photo D. BRASSEUR).

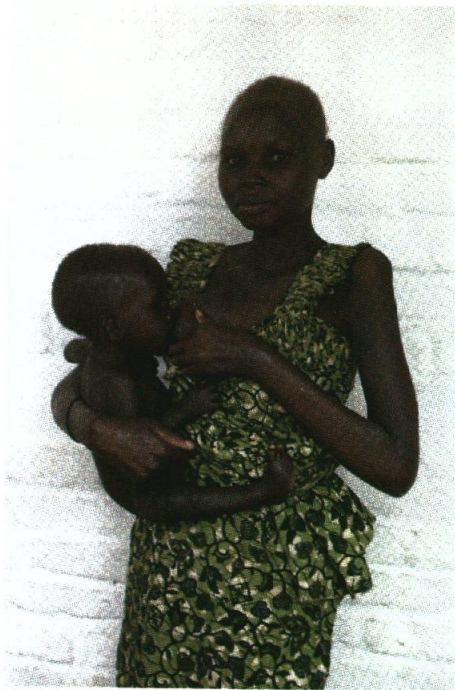


FIG. 3. — Femme allaitante présentant les symptômes de la malnutrition protéo-énergétique (Photo D. BRASSEUR).



laquelle la composante de la carence protéique est dominante. Elle apparaît après l'âge du sevrage complet mais elle peut atteindre également les grands enfants et les adultes, notamment les femmes enceintes et allaitantes. La malnutrition est aggravée par l'existence d'un environnement défavorable, et la part jouée par les parasitoses et les infections est importante.

## 2. Évaluation permanente de l'état nutritionnel de la population du Kivu d'altitude

Des enquêtes sur l'état de santé des populations du Kivu montagneux, notamment de la partie sud de la région, ont été effectuées d'une façon permanente sur plusieurs milliers de personnes. Cette activité fut placée sous la responsabilité du Dr Ph. Hennart<sup>(5)</sup>. Au cours de ces enquêtes furent recueillies des informations sur l'âge, le sexe, l'origine ethnique, la composition familiale, le rang de l'enfant, la grossesse chez la femme, l'allaitement maternel. Des mesures anthropométriques (poids, taille) ainsi que des déterminations biologiques (la recherche des parasites dans le sang et les selles, le dosage des protéines sanguines) ont été pratiquées.

Pour identifier d'éventuelles variations saisonnières, les enquêtes ont été effectuées à deux moments différents de l'année: en juin ou en janvier, lors de la période de récolte des haricots, principale source de protéines et en octobre-novembre lors de la période de la grande soudure protéique.

Dans la plupart des enquêtes analogues publiées dans la littérature spécialisée, seules les mesures anthropométriques sont prises en considération. Cette façon de faire ne permet pas de démasquer la malnutrition protéique, qui est, ainsi que nous l'avons mentionné plus haut, la forme prépondérante de la malnutrition en Afrique centrale interlacustre. Nous avons donc pris un soin tout particulier à définir la composante protéique de la malnutrition.

Le tableau 1 montre la prévalence de la malnutrition protéique telle qu'elle a été déterminée aux environs de Lwiro au cours de plusieurs années successives. Les enquêtes ont été effectuées au cours de différentes saisons. La malnutrition protéique touche donc un pourcentage non négligeable de la population. L'on remarquera qu'au cours de la dernière décennie, la prévalence de la malnutrition a augmenté et que les adultes sont de plus en plus touchés. Ceci est corroboré par le fait que les maladies connues pour être des complications de la malnutrition chez l'adulte, se sont implantées au Kivu et en partie au Rwanda: ainsi en est-il du choléra (introduit au Kivu en 1978) et de la dysenterie à *Shigella*. La grande complication de la malnutrition chez l'enfant, la rougeole, a toujours existé et était jusqu'il y a peu une des causes importantes de la mortalité infantile et juvénile.

<sup>(5)</sup> HENNART, Ph., 1984. Évaluation permanente de l'état nutritionnel protéo-énergétique. — *L'Enfant en Milieu tropical*, Paris, 149-150: 2-95.

**Tableau 1.**  
*Prévalence pour la région de Lwiro et de l'île Idjwi des taux d'albumine sérique bas, en fonction de l'âge.*

Age en années	Idjwi(*)		Lwiro			
	1976(R)	1977(S)	1981	1982	1983	1983
0-1	6.7	8.5	3.5	6.0	13.0	12.0
0-3	10.7	26.7	13.5	5.2	21.0	24.0
4-5	7.4	14.7	17.6	9.6	22.0	18.0
6-9	8.7	9.5	8.6	9.2	23.0	15.0
10-14	8.1	7.0	1.7	8.4	5.0	17.0
15-19	1.8	0	3.3	3.4	4.0	5.0
20-39	4.0	5.5	4.0	6.8	9.0	22.0
40-59	3.6	2.3	4.9	5.0	13.0	10.0
≥ 60	5.1	7.4	0	8.7	9.0	25.0

(\*) Pour Idjwi, les prévalences ont été déterminées en période de récolte des haricots (R) et en période de soudure protéique (S).

Les deux graphiques (figures 4 et 5) montrent pour la malnutrition protéique, les différences saisonnières d'une part et les différences entre les sexes d'autre part.

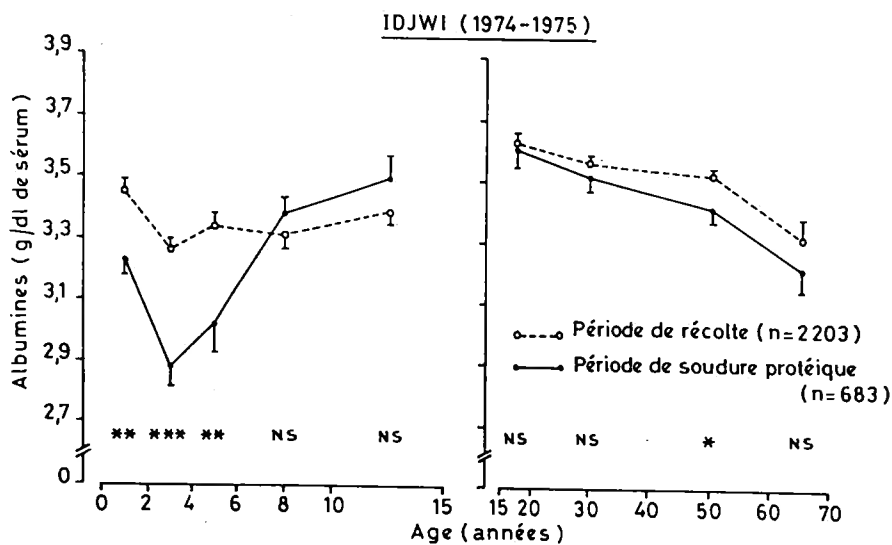


FIG. 4. — Différences saisonnières de taux d'albumine sérique observée sur l'île d'Idjwi. Les taux normaux se situent autour de 3,5 g/dl de sérum. Les différences sont significatives entre les âges de 2 et de 6 ans.

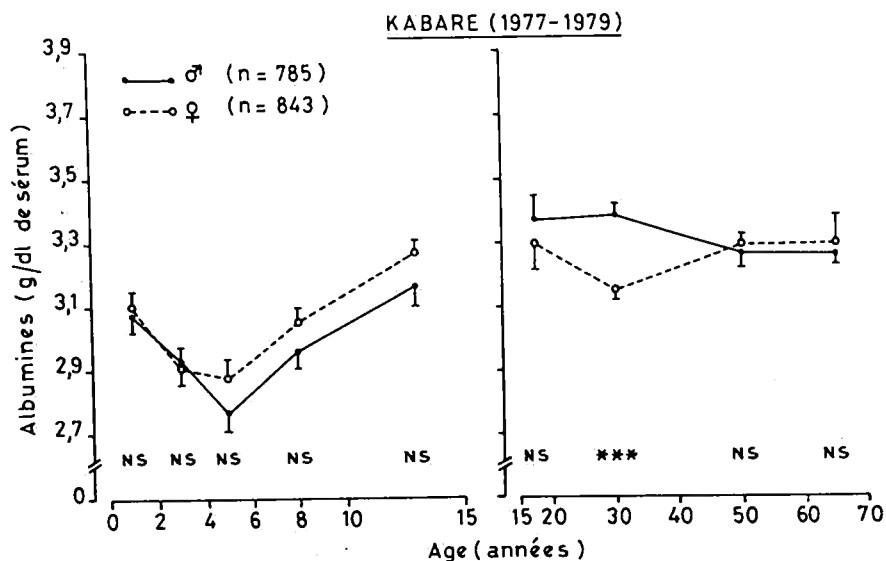


FIG. 5. — Différences à Kabare pour la même saison de l'année, des taux de l'albumine sérique en fonction des sexes. Il existe une différence significative pour les femmes au cours de leur vie féconde.

Si nous examinons non plus uniquement la malnutrition protéique, mais la malnutrition en général: énergétique et protéique (ce qui est défini dans la littérature comme malnutrition protéo-énergétique), nous obtenons pour les environs de Lwiro, au cours du dernier trimestre de l'année (période de grande soudure protéique) les prévalences définies au tableau 2 pour les enfants jusqu'à l'âge de 15 ans.

La lecture du tableau 2 fait apparaître des fluctuations importantes d'une année à l'autre et d'un endroit à l'autre. Dans l'ensemble pourtant, entre 20 et 40% de la population infantile, sont en malnutrition protéo-énergétique.

**Tableau 2.**

*Prévalence en % de la malnutrition protéo-énergétique chez les enfants (0-15 ans) dans la région de Lwiro au cours du dernier trimestre de l'année (période de soudure protéique).*

Age en années	1981	1981	1982	1983	1983	1983
0-5	35,3(298)*	40,5(454)	40,6(261)	48,0(116)	17,0(113)	23,0(147)
6-14	25,5(282)	30,8(377)	33,3(304)	40,0(111)	19,0( 97)	18,0(142)

\*: Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre de sujets investigués.

Celle-ci a été définie par rapport aux normes locales établies il y a plus de vingt-cinq ans. A cette époque, étaient en malnutrition protéo-énergétique les individus qui, par rapport aux normes locales, se situaient sous le percentile 5. Il en résulte qu'au grand minimum, le nombre de sujets, âgés de moins de 15 ans, qui se trouvent en malnutrition, a quadruplé. Si l'on tient compte de l'accroissement absolu de la population, doublement depuis 1960, l'on peut estimer que le nombre de cas est huit fois plus élevé. Nous avons donc raison de nous inquiéter, dès le début de notre action, de la situation nutritionnelle au Kivu de montagne.

Les carences en oligo-éléments qui ont toujours existé au Kivu de montagne, étaient mal définies en 1976. Elles aggravent les chiffres mentionnés plus haut.

Ces carences sont la conséquence de la pauvreté du sol en sels minéraux (cuivre, zinc, sélénium) et partant des végétaux servant à l'alimentation. Augmenter la production vivrière afin de résoudre le problème de la malnutrition est donc un leurre. En effet, ceci ne comblerait ni le déficit en protéines de bonne qualité, ni le manque en minéraux.

En conclusion, les évaluations et les recherches pratiquées sur le terrain au cours des dernières décennies ont démontré d'un côté l'importance de l'aspect qualitatif de la malnutrition, notamment en ce qui concerne les oligo-éléments, et d'un autre côté, le fait que l'ensemble de la population présente des signes nets d'une croissance ralentie dès les premiers mois de la vie, conséquence entre autres de lésions de la muqueuse intestinale, diagnostiquée chez presque tous les individus examinés.

La prévalence de la malnutrition protéo-énergétique a augmenté d'au moins quatre fois par comparaison à ce qu'elle était dans la même région il y a un quart de siècle. L'on peut estimer qu'il y a en nombre absolu au minimum, huit fois plus d'individus en malnutrition. Les adultes semblent ne plus être épargnés comme par le passé. L'influence de l'environnement défavorable a augmenté également d'une façon importante: en témoignent les épidémies des gastro-entérites à vibrion cholérique et à *Shigella*, qui touchent l'ensemble de la population.

### 3. Étude des hypothèses de base

Afin de confirmer certaines des hypothèses de base considérées comme fondamentales pour l'établissement des calculs théoriques, des recherches approfondies ont été effectuées sur le terrain. La plus importante parmi ces hypothèses était celle qui avait trait à la relation directe existant entre l'état nutritionnel de la femme et sa fécondité. Cette affirmation s'appuyait sur les travaux et les conceptions de l'époque. La malnutrition fait disparaître l'ovulation; les historiens décrivent le phénomène sous le nom d'«aménorrhée de famine»<sup>(6)</sup>.

<sup>(6)</sup> LE ROY LADURIE, E. 1973. L'aménorrhée de famine (XVII<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècle). — In: *Le territoire de l'historien*. Bibliothèque des Histoires, NRF, éditions Gallimard, Paris, pp. 331-348.

R. Fritsch<sup>(7)</sup> a apporté des arguments scientifiques à ce sujet. Cet auteur a démontré qu'une adolescente ne verra apparaître la ménarche (= premières règles indiquant l'apparition des premières ovulations) que lorsque son poids aura atteint un seuil critique pour la taille. Ce rapport poids/taille critique devra, essentiellement, dépendre d'une structure corporelle composée en partie d'une certaine masse de tissu adipeux sous-cutané. L'état nutritionnel, toujours selon R. Fritsch, conditionne également le moment d'apparition de la ménopause. En d'autres termes, la durée de la vie féconde d'une femme est conditionnée par son état nutritionnel. Effectivement, dans le milieu rural de l'Afrique centrale interlacustre, la puberté est tardive et la ménopause précoce par rapport aux normes d'Europe occidentale. R. Fritsch a étendu sa théorie à la durée de l'espacement entre les naissances pour les femmes qui n'utilisent aucune méthode contraceptive. Cette idée a, dernièrement, été contredite lors d'un Symposium qui regroupait plusieurs spécialistes en la matière. Ceux-ci n'admettent plus que le long intervalle entre deux naissances, tel observé en Afrique rurale, soit la conséquence directe de l'état de malnutrition de la mère<sup>(8)</sup>.

En effet, les études développées depuis une quinzaine d'années ont montré toute l'importance que l'on doit attribuer à la pratique de l'allaitement maternel de longue durée dans le contrôle de l'espacement des naissances. La part apportée par l'équipe médicale au Kivu a été fondamentale dans ce domaine. Il nous semble nécessaire de développer plus en détails ce point de vue qui est essentiel dans notre raisonnement.

### 3.1. *La pratique de l'allaitement maternel et la démographie*

Dans les milieux ruraux du Kivu de montagne et du Rwanda, l'allaitement maternel est universel et de très longue durée: 8 à 24 mois. L'allaitement est donné à la demande et le nourrisson est étroitement en contact avec sa mère, aussi bien le jour que la nuit. De ce fait, le nombre de têtées par 24 heures est élevé, généralement supérieur à dix. Ce mode d'allaitement, très différent de ce que l'on peut observer dans les pays industrialisés, a pour conséquence l'élévation dans le sang de la mère du taux d'une hormone appelée « prolactine ». Pour obtenir en permanence des taux élevés de l'hormone, il faut un nombre de têtées supérieur à huit, avec au moins trois têtées nocturnes. Ces taux élevés de prolactine vont de pair avec une inhibition de l'ovulation. Lorsque le nombre de têtées diminue, le taux de prolactine s'abaisse et l'ovulation reprend. La période d'infertilité après la naissance (= aménorrhée *post partum*) est donc largement sous la dépendance du comportement de la mère vis-à-vis de l'allaitement.

Au Kivu tout particulièrement, on est frappé par le fait que la mère se maintient durant la grossesse et l'allaitement dans un équilibre remarquable,

(<sup>7</sup>) FRITSCH, R. 1985. — *In*: Maternal nutrition and lactational infertility. 1 vol., 149 pp., Nestlé Nutrition Workshop Series, vol. 9, Raven Press, New York, J. Dobbing, éditeur.

(<sup>8</sup>) DOBBING, J. (Ed.) 1985. *Op. cit.*

mais qui se situe par rapport aux pays industrialisés à un niveau assez bas. Alors que l'on s'attendrait, au contraire, à un amaigrissement dans des situations très défavorables, comme à Kabare, l'on ne constate chez la mère aucune modification significative ni du poids, ni du taux des albumines plasmatiques<sup>(9)</sup>.

Étant allaitantes, ces femmes ont forcément été enceintes, c'est-à-dire qu'elles ont les critères de poids, définis par R. Fritsch, pour pouvoir concevoir. Dès lors, il faut bien admettre que le seul contrôle de la durée de l'aménorrhée *post-partum* est le taux sanguin de prolactine, directement dépendant du nombre de têtées par 24 heures qui est la conséquence du comportement de la mère.

Pour que l'allaitement soit efficace du point de vue du maintien de l'aménorrhée *post-partum*, il est nécessaire qu'il soit donné à la demande. Pour ce faire, la mère et l'enfant ne peuvent se quitter et doivent rester en contact étroit de jour comme de nuit. C'est-à-dire que la mère doit porter son nourrisson lors de tous ses déplacements pendant le jour et doit dormir avec lui durant la nuit. C'est ici qu'intervient la notion de pression socioculturelle dans toute sa problématique. La mère, dans le milieu rural traditionnel ne

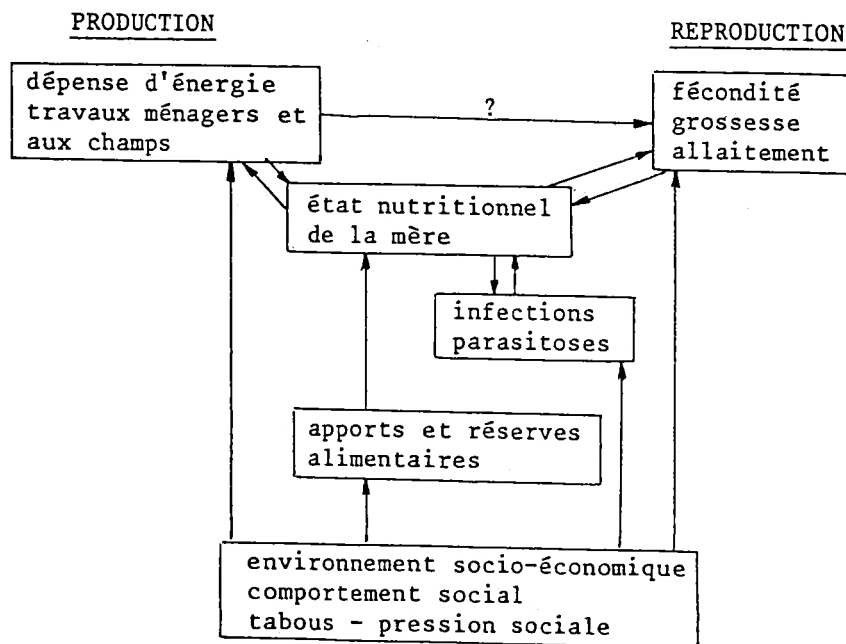


FIG. 6

(9) HENNART, P., RUCHABABISHA, M., UWAYTU, N., CHRISTOPHE, C., ROBYN, C. & VIS, H. L. 1982. Influence of frequency, breast-feeding and mother/child interrelationship of the nutritional status of the child in Central Africa. — *Medizin in Entwicklungsländern*, 11: 165-182.

dispose pas de son libre arbitre. Elle a vis-à-vis de la société plusieurs obligations: d'une part, elle doit assurer la naissance et la survie du nourrisson (secteur de reproduction), d'autre part, elle doit fournir une dépense énergétique importante et pour son ménage (corvée de bois, corvée d'eau, etc.) et aussi, dans certaines circonstances, pour les travaux agraires (fig. 6).

Aussi en Afrique centrale, l'état nutritionnel des mères allaitantes dépend de plusieurs facteurs:

- L'apport alimentaire et les éventuelles réserves de graisses qu'elle aurait pu faire au cours de la grossesse;
- Les infections et les parasitoses;
- La dépense d'énergie demandée par le travail physique (secteur de production).

### 3.2. *Le secteur de production*

Chez les populations traditionnelles, il n'existe généralement pas de planification des naissances. Une femme, si elle n'est pas stérile, est, pendant sa vie féconde, soit enceinte, soit allaitante. Ces deux conditions demandent un apport alimentaire supplémentaire.

Les deux secteurs de production et de reproduction influencent l'état nutritionnel de la mère. Celui-ci, nous l'avons vu, reste en équilibre. Si pour une raison ou une autre, l'un des deux secteurs devient plus exigeant (c'est généralement, sous la pression socio-économique, le secteur de production), un choix se pose à la mère qui ne peut plus assurer les besoins des deux secteurs sous peine de déséquilibrer son état nutritionnel.

Toutes les études effectuées jusqu'ici, indiquent que dans ces circonstances, la mère reste en équilibre nutritionnel en abandonnant son enfant plusieurs heures par jour. Ce faisant, elle diminue le nombre de têtées et le taux de prolactine s'abaisse dans son sang, ce qui peut entraîner la reprise de l'ovulation.

La pression socio-économique est déterminée par le fait que chaque fois que la malnutrition prévaut, un effort physique supplémentaire est demandé à l'ensemble de la population.

Nous avons indiqué dans le schéma de la fig. 6 qu'il y avait peut-être une influence directe de l'effort physique sur le secteur de reproduction. Ceci est déduit d'observations faites dans les pays industrialisés. Dans ces pays, les femmes, en bon état nutritionnel, mais qui fournissent journallement un effort physique important comme les athlètes ou les ballerines, très souvent ne déclenchent pas, à l'adolescence, leur puberté ou redeviennent aménorrhéiques. La composition corporelle de ces femmes est particulière: peu de graisses sous-cutanées mais développement important de la musculature. L'effort physique demandé aux femmes africaines en milieu rural ne le cède en rien aux athlètes et aux ballerines. Il pourrait donc y avoir, outre l'allaitement, un autre paramètre contrôlant l'aménorrhée *post partum*: la dépense énergétique excessive.

Donc en modulant l'allaitement (le nombre de têtées par 24 heures), la mère influence l'espacement entre les naissances. Son comportement est primordial dans tout le processus. Mais dans le milieu traditionnel, ce comportement est influencé par la pression sociale. Celle-ci va dans deux sens: ou bien la population est en malnutrition et la mère se dirige vers le secteur de production, ou bien au contraire, la population est en bon état nutritionnel et la mère se dirige vers le secteur de reproduction (tabou sexuel strict pendant un à deux ans, interdiction d'effectuer des travaux lourds).

Par contre, dans les villes, milieu non traditionnel, il existe un abandon de l'allaitement qui est moins dû à la pression sociale, mais relève plus de convenances personnelles de la mère qui, au départ, doit fournir un effort physique bien moindre que dans le milieu rural, qui ne porte plus son enfant à longueur de journée et qui de plus, souvent, ne dort plus avec lui<sup>(10)</sup>. Dans ces deux circonstances (milieu rural défavorisé avec une exigence importante pour l'effort physique et milieu urbain), il y a, dans une population où la fécondité est naturelle, diminution de l'espacement entre les naissances et accentuation de la poussée démographique. Au Rwanda, l'accroissement annuel de la population s'est accru en 15 ans de 2,7% à 3,5%.

En conclusion, nous avons été trop pessimiste quant au contrôle direct de la malnutrition sur la fécondité. Les courbes mentionnées dans le rapport de 1976 sont en deçà de la réalité. Il y a, au contraire, en Afrique centrale, une véritable explosion démographique, conséquence d'une part de la diminution de la durée de l'allaitement maternel, et d'autre part, d'une façon moins nette, d'une diminution de l'effort physique journalier demandé à la femme allaitante.

#### **4. Changements intervenus au cours de la dernière décennie**

Pour établir l'étude prospective sur le Kivu montagneux, on a postulé que toute chose restait égale à elle-même. Or, certaines choses ont, au contraire, changé au cours des temps.

##### *4.1. Actions sanitaires coordonnées*

Il y a eu au Kivu de montagne et au Rwanda, une action sanitaire coordonnée qui a permis de contrôler les causes aggravantes de la malnutrition et a eu vraisemblablement une influence sur la mortalité, notamment des enfants âgés de 0 à 5 ans. Cette action est promulguée et fermement soutenue par les agences des Nations Unies. Elle vise, entre autres, à développer sur une très large échelle, les campagnes de vaccination, notamment contre la rougeole, et à lutter contre les diarrhées. Nous n'avons pas de statistiques générales

---

<sup>(10)</sup> VIS, H. L. & HENNART, Ph. 1978. Decline in breast-feeding. About some of its causes. — *Acta Paediatrica Belgica*, 31: 195-206.



permettant d'évaluer l'impact que pourraient avoir eu et avoir dans l'avenir, de telles actions. Néanmoins, nous avons pu l'évaluer d'une façon ponctuelle. En effet, nous avons démontré depuis 1969-1970, l'importance de la rougeole dans le déclenchement de la malnutrition visible, c'est-à-dire avec toute sa symptomatologie clinique et biologique. Les campagnes de vaccination n'ont été possibles que par l'établissement d'une chaîne de froid depuis le pays producteur du vaccin jusqu'au Centre de Santé du premier échelon en milieu rural. L'introduction de la vaccination anti-rougeoleuse tôt dans la vie (vers le 6<sup>e</sup> mois) a permis de diminuer dans la zone de Lwiro, d'une façon significative, dans un premier temps la mortalité, et dans un second temps la morbidité due à la maladie. La rougeole est une maladie épidémique dont chaque pic se situait tous les 18 mois à peu près. Il a donc été nécessaire de faire des évaluations sur des ensembles de trois ans. Pour les trois années (1974 à 1976) qui ont précédé les campagnes de vaccination, l'incidence de morbidité rougeoleuse parmi les enfants en malnutrition, était de 14,0% et la mortalité de 54,0% parmi les enfants rougeoleux. Ces chiffres sont descendus au cours des trois premières années de l'introduction de la vaccination, respectivement à 11,4% et 21,1%, pour être finalement à 2,3% et 21,0% pour les trois années suivantes de vaccinations. Les changements ont donc été spectaculaires. Il est beaucoup plus difficile d'évaluer l'influence éventuelle des autres vaccins administrés systématiquement: notamment le B.C.G. (tuberculose), coqueluche, tétanos et diphtérie.

Le choléra et les gastro-entérites en général, ont toujours été une des complications majeures de la malnutrition. Le vaccin contre le choléra est peu efficace, il ne protège l'individu que durant une courte période de 6 mois. En 1977 s'est déclarée dans l'est de la région du Kivu, une épidémie de choléra, suivie après quelques années d'une épidémie de dysenterie provoquée par un microbe de type *Shigella* très résistant aux antibiotiques généralement utilisés pour combattre ce genre d'affection.

Le choléra atteint surtout l'adulte. Sa présence en 1977-1978 sous une forme épidémique signifiait que la tranche adulte de la population se trouvait, tout au moins à cette époque, dans un état nutritionnel précaire, ce qui n'était sans doute pas le cas au cours des années précédentes. L'épidémie de choléra a pu être relativement maîtrisée grâce à des campagnes massives de vaccination, mais le taux bas de mortalité enregistré (moins de 5%) découle très certainement de l'utilisation sur une large échelle de solutions réhydratantes orales (TRO = Thérapie Réhydratante Orale). Ces solutions qui contiennent du sel, du potassium et du bicarbonate ainsi que du glucose ou un autre sucre simple, avaient été utilisées en 1972 avec succès au Bangladesh, également lors d'une épidémie de choléra. L'idée est venue d'utiliser ces solutions dans tous les états de diarrhée entraînant à plus ou moins brève échéance un état de déshydratation, notamment pour les diarrhées accompagnant la malnutrition protéo-énergétique. Il y a eu au Kivu de montagne et au Rwanda une action sanitaire coordonnée qui a permis de contrôler les causes aggravantes de la malnutrition et a influencé d'une façon notable le taux de mortalité, notamment des enfants âgés de 0 à 15 ans. Ce succès est la conséquence d'une

action conjointe dans la plupart des pays du tiers monde, y compris ceux d'Afrique centrale, de l'UNICEF et de l'OMS.

A l'échelle de Lwiro par exemple, la mortalité des enfants en malnutrition protéo-énergétique a été réduite de 37,0% à 12,7% en cinq ans (de 1977 à 1982) par la vaccination généralisée, par l'utilisation de la TRO, par l'utilisation de médicaments antiparasitaires et par la distribution des oligo-éléments manquant dans le régime traditionnel<sup>(1)</sup>. Ces résultats furent obtenus sans modifier les apports en énergie et en protéines.

#### 4.2. *Le développement en général*

L'on dispose de peu de chiffres pour le Kivu montagneux permettant d'évaluer l'évolution de la production vivrière, l'érosion des sols et la démographie. L'impression prévaut qu'aucune mesure ne fut prise pour essayer de combattre l'évolution néfaste de la situation. Au Zaïre d'ailleurs, le rapport de 1976 fut mal accueilli. S'il n'y a pas eu de critique objective pour les conclusions du rapport, ni aucune tentative pour amorcer des recherches en profondeur, par contre, les réactions subjectives furent nombreuses. Il fut déclaré en privé et en public (par la voie de la presse et de la télévision) que les conclusions étaient pessimistes et irréalistes.

Au Rwanda, les autorités prirent des mesures importantes: elles créèrent un Office National de la Population (ONAPO), elles redonnèrent vigueur aux programmes de lutte anti-érosive et au reboisement. Elles sensibilisèrent en profondeur les populations. En outre, l'on peut constater dans ce pays qu'un développement se manifeste: en témoignent l'amélioration nette de l'infrastructure routière, le développement de la ville de Kigali, l'extension notable de cultures pérennes.

L'autosuffisance des Rwandais, première mission du Troisième Plan Quinquennal du développement économique, social et culturel 1982-1986, est un impératif. On estimait en 1981, que les besoins alimentaires en énergie étaient couverts à 104% et ceux en protéines à 84%. Ces faits ont nécessité l'importation de 28 300 t de produits alimentaires (céréales 14 500 t, sucre 6300 t, huiles 4500 t et lait en poudre 3000 t). De ces 28 300 t, 15 300 provenaient de l'aide alimentaire. Ces importations ajoutées à la production nationale ont permis de satisfaire à 107% les besoins en énergie et à 85% les besoins en protéines. Les autorités espèrent atteindre l'autosuffisance alimentaire par le biais d'une augmentation de la production vivrière et d'une meilleure distribution. Dans le cadre de la lutte anti-érosive, les autorités procèdent à l'aménagement d'essais multiloaux en protection et conservation des sols. Une activité de reboisement des terres dénudées est poursuivie en produisant annuellement 60 000 plants forestiers par secteur administratif<sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> VIS, H. L. 1983. *Op. cit.*

<sup>(2)</sup> KAREKEZI, C. 1984. Le programme du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et des Forêts en vue d'assurer l'autosuffisance alimentaire. — Rapport du Séminaire sur la Santé Familiale (Kigali, 16-24 avril 1984), 1 vol., 240 pp., ONAPO, pp. 87-93.

Les enquêtes effectuées en milieu rural n'ont pas permis de montrer de dégradation ou d'amélioration de la situation nutritionnelle. Ceci est confirmé par certains critères: l'augmentation de poids de la femme enceinte qui ne dépasse pas 5 kg dans le milieu rural et le poids de l'enfant à la naissance, qui se situe en moyenne en dessous de 3 kg, sont restés constants.

En résumé, par rapport aux données fournies par le rapport de 1976: «Le Kivu montagneux», les considérations suivantes doivent être faites:

1. L'impact de la malnutrition sur la fécondité de la femme rurale d'Afrique a été surestimé. La malnutrition n'est pas encore assez importante que pour avoir une influence négative sur la fécondité par le biais de l'allongement entre deux naissances.

2. L'évolution démographique a été sous-estimée. L'accroissement démographique annuel est plus important qu'en 1975-1976, à cause d'un abandon relatif de l'allaitement maternel qui ne semble pas augmenter d'une façon appréciable la mortalité infantile et juvénile.

3. Des actions généralisées de Santé Publique: le Programme Élargi de Vaccinations (PEV) parmi lesquelles la rougeole et la lutte contre les maladies diarrhéiques, ont diminué en un temps court la mortalité infantile et juvénile.

4. Un paramètre important du contrôle de la fécondité a été généralement négligé jusqu'ici: le travail physique important fourni par la femme du milieu rural. Il n'est pas impossible, mais peu d'études existent à l'heure actuelle, que la dépense énergétique nécessaire à la production est en train de diminuer par une meilleure répartition du travail entre les hommes et les femmes et aussi par le développement rural et l'amélioration de l'hygiène du milieu. La dépense énergétique moindre chez la femme entraîne une augmentation de la fécondité.

L'on a le droit de conclure que le rapport de 1976 reste valable pour la discussion et la planification d'actions globales pour autant que l'on tienne compte de la véritable explosion démographique qui s'est révélée au cours de la dernière décennie.

Août 1985.  
H. L. Vis.

## Introduction

L'application de la simulation mathématique à l'étude de systèmes complexes où s'articulent les éléments de la démographie, des ressources et de la nutrition dans les conditions particulières de l'économie de subsistance, a déjà été réalisée par d'autres auteurs. A notre connaissance quatre références récentes reprises à la liste bibliographique en annexe méritent d'être citées (BEHRENS & SHANTZIS 1973, PICARDI 1974, PICARDI 1976, PICARDI & SEIFERT 1976). Par ailleurs ALLAN (1965) qui par sa monographie «The African husbandman» a introduit la notion de «carrying capacity» se pose en précurseur.

L'étude multidisciplinaire que nous présentons ci-après a pour objet de soumettre à l'analyse mathématique le devenir d'un groupement humain situé encore au niveau de l'économie de subsistance et dont toutes les activités, quasi exclusivement agricoles, sont tournées vers la satisfaction directe de ses besoins de consommation. Ses échanges avec le dehors sont pratiquement inexistantes. Ceci nous a dispensés de tenir compte d'apports nutritionnels venus de l'extérieur au même titre que du revenu monétaire.

Le modèle mathématique élaboré pour l'étude prospective de ce groupement a dû prendre en considération trois éléments dont la quantification s'est avérée particulièrement difficile et discutable du fait de l'insuffisance de données expérimentales ou d'observations scientifiques.

Le premier concerne une relation particulièrement importante pour la détermination de la natalité, à savoir la relation entre la nutrition et l'aménorrhée *post-partum*. Diverses observations scientifiques établissent un rapport entre une situation de carence nutritionnelle et un allongement de ce temps mort qui suit l'accouchement et pendant lequel la femme n'est pas fécondable. Des facteurs autres que la nutrition interviennent toutefois dans le phénomène, facteurs dont nous n'avons pu tenir compte. En outre, nous avons dû donner à la relation nutrition/aménorrhée des valeurs qui demanderaient à être contrôlées par des observations rigoureuses *in situ* ou dans des conditions très comparables.

La relation entre la nutrition et la force de travail constitue un second élément pour lequel, à défaut de données chiffrées établies localement, nous avons dû recourir à l'estimation pour quantifier un phénomène dont maintes observations confirment l'importance sans en donner toutefois la mesure précise.

Enfin nous avons tenté de traduire en expression mathématique la perte de productivité des sols arables, soumis à un régime de culture extensive,

lorsque les circonstances ne permettent plus la reconstitution de la fertilité par le système de la jachère naturelle. A cette fin, nous avons dû établir une relation chiffrée entre, d'une part, les durées relatives de la culture et de la jachère, fonction de la densité de la population rurale et, d'autre part, la dégradation du sol. Il nous a fallu, en outre, distinguer et exprimer en langage chiffré une dégradation réversible (que pourrait corriger un apport fertilisant ou une jachère prolongée) et une dégradation irréversible résultant essentiellement de l'enlèvement plus ou moins rapide de la couche arable par l'érosion. Nous ne disposons, pour la région considérée, et en dehors de quelques essais de culture continue, d'ailleurs peu concluants, d'aucune mesure expérimentale. Or ces phénomènes sont éminemment variables, on le sait, avec les conditions du milieu: topographie, pédologie, climat et techniques de culture. Il nous a donc fallu faire choix de valeurs moyennes, applicables à l'ensemble géographique considéré et basées essentiellement sur des estimations avancées par des agronomes expérimentés dans la région. Ayant ainsi quantifié la relation entre la densité de l'occupation rurale et la dégradation des ressources, nous avons dû, de même, quantifier pour l'introduire dans le modèle, l'incidence que pourrait avoir sur cette dégradation l'ensemble des mesures correctives que constituerait un programme de protection contre l'érosion.

Il est hors de doute que, dans les trois domaines considérés ci-avant, les quantifications auxquelles nous nous sommes arrêtés sont discutables. Nous nous sommes efforcés de les situer au niveau le plus plausible c'est-à-dire au centre de gravité de nos propres observations et des estimations et données qui ont pu être obtenues d'autres sources.

Il reste loisible de faire varier les valeurs considérées dans un large éventail de part et d'autre de ces centres de gravité. Nous l'avons fait dans des tests de sensibilité du modèle. Ceux-ci ont démontré l'invariance de l'orientation des conclusions générales quelles que soient les valeurs spécifiques raisonnables données aux diverses variables.

Pour situer la portée réelle de ces conclusions générales, il importe de se pénétrer du processus de leur élaboration qui est le suivant.

Dans une première phase ont été analysées en détail les interactions relativement complexes entre les multiples éléments qui constituent le «système», c'est-à-dire le groupement humain considéré, dans ses relations avec le milieu. On en déduit un modèle conceptuel qui rend compte de la manière dont réagissent entre eux tous les facteurs intervenant dans l'évolution de ce groupement: natalité et mortalité, apport nutritionnel, force de travail, besoins, etc.

Dans une seconde phase, après avoir donné leurs dimensions aux paramètres de base (surfaces des terres cultivables, population initiale, productivité initiale, etc.), on a exprimé en formules mathématiques toutes les interactions définies par le modèle conceptuel et donné des valeurs chiffrées à toutes les variables et fonctions du système.

Recevant l'ensemble de ces données, l'ordinateur nous montre, année par année, jusqu'à l'horizon 2040 quelle sera — toutes choses restant égales — la situation du système eu égard aux éléments essentiels, population, apport nutritionnel et terres disponibles.

Introduisant certaines hypothèses telles que l'émigration spontanée ou dirigée d'une partie de la population on a construit divers « scénarios » au sujet desquels l'ordinateur a été interrogé à nouveau. Les diverses simulations ainsi réalisées conduisent à des résultats chiffrés qui ne sont autre chose que l'expression mathématique de ce que pourrait être la situation réelle à un moment déterminé si toutes les hypothèses de base et si toutes les valeurs arbitrairement données aux variables se vérifiaient. Il y aura donc, entre la réalité et la description qu'en donne le modèle, un écart résultant de deux causes possibles: d'une part, l'incidence d'événements imprévisibles, écartés en principe par les hypothèses de base, et, d'autre part, la fourchette résultant de l'imprécision dans la quantification des variables. Les tests de sensibilité ont permis de mesurer l'importance relativement faible de cette fourchette.

Les conclusions peuvent donc être présentées de manière très formelle, tout au moins en ce qui concerne leur orientation générale.

Elles suggèrent évidemment diverses réflexions quant aux mesures qui pourraient être mises en œuvre pour pallier l'évolution catastrophique à laquelle conduisent tous les scénarios imaginés.

Nous n'avons pas voulu taire nos propres réflexions à ce sujet en nous limitant à la stricte présentation des conclusions de l'ordinateur.

Notre but toutefois n'était pas d'élaborer un programme dans ce sens mais uniquement de montrer, de manière irréfutable, combien un tel programme est urgent et indispensable.

La décision d'en promouvoir l'étude relève, en effet, de l'Autorité politique; son étude ne peut être menée à bien que par une étroite conjonction entre cette Autorité, les populations intéressées et des organismes d'étude, apportant entre autres la possibilité de tester sur modèle mathématique l'incidence des actions envisagées.

Nos commentaires sur les conclusions ne sont en aucune manière exhaustifs. Ils n'ont d'autre prétention que de livrer au lecteur quelques réflexions qui pourraient constituer une contribution initiale à d'ultérieurs développements.



## Première partie

### Description de la région étudiée, le Kivu montagneux

#### I.1. Situation géographique

La Région du Kivu, dans l'acception administrative du terme, couvre, dans l'Est du Zaïre, des territoires particulièrement hétérogènes eu égard tant aux conditions physiques: climat, géologie, sol, relief et altitude, qu'aux conditions socio-économiques: ressources, cultures, démographie, peuplement humain et institutions coutumières. En latitude, une gradation s'établit, en effet, entre la forêt équatoriale toujours humide et la savane tropicale à alternance pluies-sécheresse. En altitude, elle va du climat très chaud des plaines basses aux conditions tempérées des hauts plateaux. A cette hétérogénéité physique se superposent des conditions socio-économiques très variables où l'on relève notamment la distinction fondamentale entre les institutions classiques des régions basses de l'Ouest à population clairsemée et les institutions dynastiques des régions hautes de l'Est à population très dense.

Pour éviter d'embrasser des conditions aussi variables, nous n'avons considéré que le Kivu d'altitude ou Kivu de montagne nettement plus homogène à tous points de vue.

Le Kivu de montagne fait partie d'un ensemble plus vaste s'étendant, au delà des frontières du Zaïre, en Ouganda, Burundi et Tanzanie. Sur le plan culturel, cet ensemble se rattache à la «civilisation bantoue interlacustre» (MAQUET 1954, VANSINA 1962) qui s'est développée dans la région centrale du Graben africain.

Notre étude se limitera à la partie de la Région du Kivu constituée par les Zones administratives qui chevauchent la crête des monts Mitumba, prolongée au Nord et au Sud par la ligne de partage des eaux entre la dépression du Graben à l'Est et les affluents directs du Lualaba à l'Ouest. Ce secteur géographique est, en majeure partie, situé à une altitude supérieure à 1000 m.

Ceci exclut la partie inférieure du versant occidental des monts Mitumba, lequel se rattache plutôt aux conditions de la Cuvette, et notamment les Zones de Shabunda et de Walikale. Sont exclues également, par souci d'homogénéité, les grandes vallées du Graben, plaines de la Semliki, de la Rwindi, de la Rutshuru et de la Ruzizi ainsi que la portion du territoire intégrée dans le Parc National des Virunga. Ce dernier, à l'exclusion de la Ruzizi, couvre d'ailleurs



la majeure partie de ces plaines ainsi que de la Zone administrative de la Rutshuru laquelle, pour cette raison, a été écartée de l'étude.

## LE KIVU MONTAGNEUX

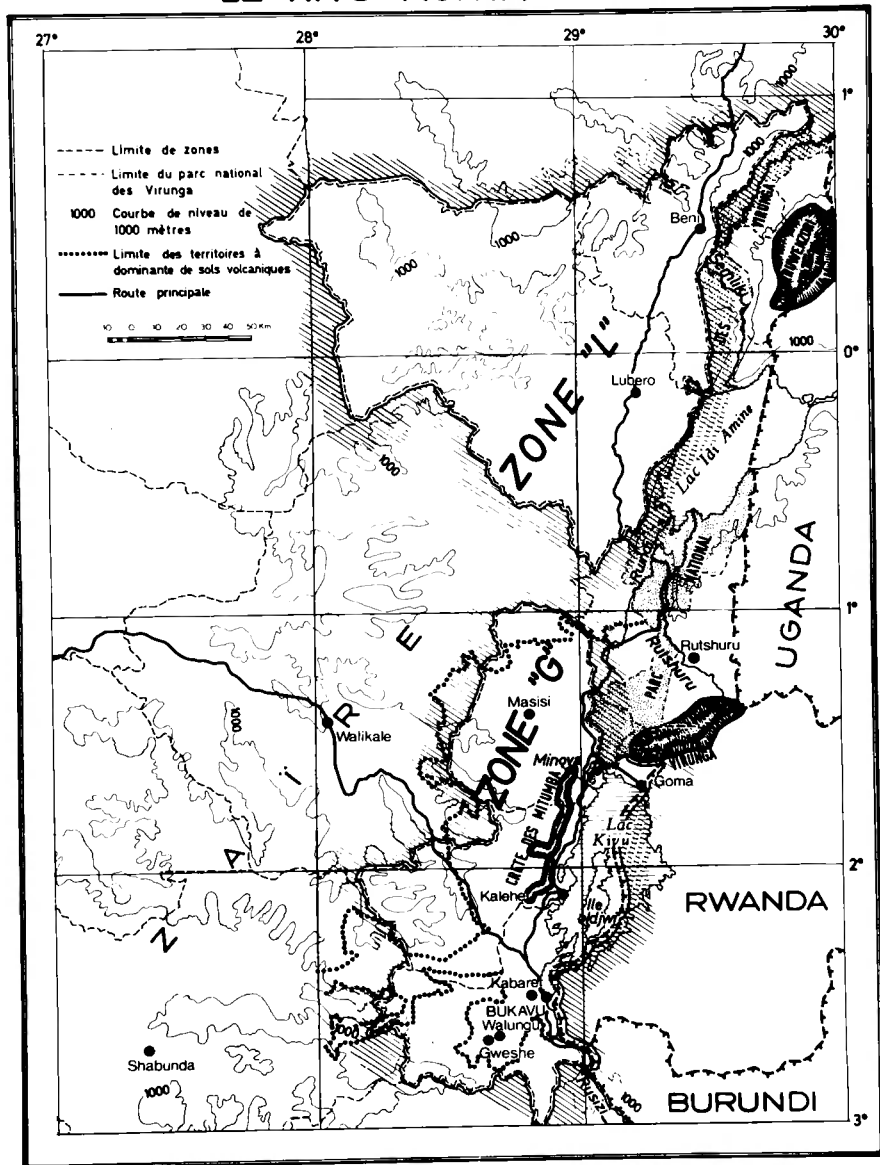


FIG. I.1. — Carte de la région considérée.

Enfin, le massif de l'Itombwe (Fizi et Mwenga), dont l'altitude dépasse 2000 m, n'a pas été considéré. Il est en majeure partie occupé par des pasteurs.

En conclusion, la Région étudiée couvre: en Nord-Kivu: les Zones administratives de Goma, Masisi, Lubero et Beni; en Sud-Kivu: les Zones administratives de Bukavu, Kabare et Kalehe.

L'ensemble représente la superficie d'environ 34 750 km<sup>2</sup> délimitée sur la carte (fig. I.1).

## I.2. Les sols

En dehors des massifs de haute altitude, des plaines et des escarpements, le Kivu montagneux se présente comme une suite de hautes collines dont le relief franchement accentué résulte autant des phénomènes géologiques et d'érosion que de la nature des roches qui les composent.

Très schématiquement, nous subdiviserons la Région étudiée en deux zones. La première est caractérisée par une prédominance de sols de haute et même de très haute fertilité tels que les sols sur coulées de basalte (Kabare, Kalehe, ...), les sols sur cendres volcaniques (Masisi), les sols minéraux bruts (Goma) et les sols sur alluvions (essentiellement les grandes plaines du Graben, exclues de la Région par définition, cf. chapitre I.1). Elle couvre quelque 6000 km<sup>2</sup>. La seconde est caractérisée par la prédominance de sols de fertilité moyenne, ferrisols et ferrasols sur roches non différenciées (PÉCROT & LÉONARD 1960). Elle couvre le restant de la Région, soit environ 28 360 km<sup>2</sup>, c'est-à-dire la majeure partie des Zones administratives de Lubero et de Beni, plus la partie des Zones du Sud Kivu non atteintes par l'extension des coulées de lave (cf. carte).

A l'érosion géologique qui a modelé le pays, l'homme ajoute une érosion anthropique d'autant plus forte que les pentes sont plus accentuées et le sol plus fragile. Cette érosion est la conséquence du déboisement, du pacage du bétail et de la culture.

Trois exemples illustreront le caractère nettement accentué du relief. Pour la colline de Bushumba, HECQ *et al.* (1963) donne la répartition suivante des sols, en classes de pente:

Pente %	Répartition %
0 à 15	37
15 à 30	21
plus de 30	42
	100

Pour le secteur de la Kahawa, en région de Bukavu, TONDEUR, en 1952, relevait:

Pente %	Superficie ha	Répartition %
0 à 25	330	23
25 à 50	431	30
plus de 50	675	47
	1436	100

Enfin, dans le secteur de Walungu, KEVERS & OSTYN, en 1955, donnaient, pour le groupement Teganyi:

Pente %	Superficie ha	Répartition %
0 (marais)	211	13,4
1 à 25	964	61,4
25 à 45	277	17,6
plus de 45	119	7,6
	1571	100

Les bases de la classification n'étant pas uniformes, ces mesures — par ailleurs très ponctuelles — ne permettent pas de dégager des moyennes valables pour la Région. Toutefois, les grandes plaines ayant été écartées pour les raisons exposées sub II.1, elles permettent de conclure à la faible proportion des terres cultivables sans grand danger d'érosion.

On peut, en effet, admettre avec KEVERS & OSTYN (1955) que seules les terres ayant moins de 5% de pente sont cultivables sans dispositif anti-érosif; que de 5 à 12% elles requièrent des mesures de conservation et de 15 à 25% des travaux d'aménagement. Au-delà de la limite de 25%, les terres ne pourraient être utilisées qu'au pâturage (jusqu'à 45%) et au reboisement, et encore, le pâturage demanderait-il des techniques d'utilisation très conservatoires.

Le secteur Kahawa, cité ci-avant, représente sans doute un cas exceptionnellement défavorable et le groupement Teganyi un cas particulièrement favorable, grâce notamment à la présence d'un vaste marais (circonstance relativement rare dans la Région).

Il semble que, pour l'ensemble du Kivu montagneux, la classification des sols en classes de pentes puisse être *grosso modo* assimilée à celle de l'exemple Bushumba. Ceci réduirait à moins de 50% la superficie des terres cultivables sous réserve de dispositifs anti-érosifs appropriés.

A noter que la classification du « Soil Conservation Service » américain (BENNETT 1939) est nettement plus rigoureuse. Elle limite généralement la culture « sarclée » à la pente maximum de 14% et recommande l'application des techniques anti-érosives même pour des pentes inférieures à 3%. L'application de ces normes au Kivu montagneux réduirait à 30% la fraction des terres utilisables pour les cultures annuelles. Les pentes supérieures à 14% et inférieures à 35% ne pourraient être utilisées qu'aux cultures pérennes (bananiers, thé, café, etc.) sur dispositif anti-érosif approprié.

L'érodabilité, ou sensibilité des terres à l'érosion, varie avec de très nombreux facteurs autres que la pente, à savoir les qualités intrinsèques du sol (texture, structure, teneur en matières organiques, etc.) et les éléments climatiques. Elle n'a pas fait l'objet de déterminations chiffrées dans la Région. Les facteurs humains: surpopulation, surpécoration et pratiques culturales défectueuses, qui seront examinés sub I.6, sont avec la pente, les éléments déterminants principaux du phénomène d'érosion.

On notera que les sols sur cendrées volcaniques, les plus fertiles, sont aussi les plus sensibles à l'érosion, mais ils sont profonds et perméables, ce qui atténue les conséquences de l'érosion. Les sols basaltiques au contraire sont peu perméables dès que la culture et l'érosion en ont dégradé la couche humifère. Ils donnent lieu, en phase décapée, à un ruissellement intense, cause de ravinement et de pertes d'eau utilisables par les cultures.

On peut dire que l'érosion affecte tous les sols du Kivu montagneux.

### I.3. Le climat

La proximité de l'équateur détermine deux saisons pluvieuses et deux saisons relativement sèches de juin à août et de janvier à février.

L'alternance d'humidité et de sécheresse est tempérée par l'altitude mais s'accroît à mesure que l'on s'écarte de l'équateur. En général, elle n'entraîne pas une véritable cassure dans le cycle de la végétation (HECQ *et al.* 1963) en ce sens que les plantes pérennes (plantes herbacées à persistance souterraine et plantes ligneuses) peuvent reverdir en saison sèche, mais elle est suffisante, dans la majorité des cas, pour déclencher, en saison sèche, un incendie généralisé de la végétation et pour imposer un calendrier agricole rigoureux. Dans les cas extrêmes, la production de deux récoltes par an est impossible.

La pluviosité annuelle à hauteur du lac Kivu (alt. 1463 m) est de  $1200 \pm 300$  mm. Les pluies augmentent avec l'altitude jusqu'aux environs de la cote 3000 m pour diminuer ensuite. L'intensité maximum au cours d'une averse se situe entre 5 et 10 mm à la minute.

La température moyenne annuelle oscille entre 19 et 20 °C à 1500 mètres avec un minimum en décembre et un maximum en mai. Les extrêmes de température se situent entre 15 et 25 °C. Les diversités du relief, de la latitude et de l'altitude entraînent la coexistence de nombreux microclimats (VANDENPLAS 1943) auxquels correspondent de nombreuses variantes du système agricole traditionnel.

#### I.4. Le peuplement

Le peuplement initial de la vaste zone interlacustre était le fait de nomades forestiers pygmoïdes vivant de chasse et de cueillette. Leur mode de vie et de subsistance commandait un peuplement extrêmement clairsemé. Leur culture peut être rattachée à l'âge de la pierre. Il ne subsiste de ce peuplement primitif que quelques groupes très réduits (les «Twa») généralement chasseurs ou potiers.

A ce peuplement initial se surimposèrent, il y a moins de deux millénaires, des tribus de cultivateurs du groupe bantou. Ce peuplement trouve son origine dans le grand mouvement d'expansion bantoue qui prit naissance au Nord de la grande forêt équatoriale, aux confins du Nigéria et du Cameroun et se propagea vers l'Est puis vers le Sud et l'Ouest en contournant la zone des forêts denses. Les tribus bantoues issues de cet essaimage semblent avoir trouvé, sur les hauts plateaux bordant le Graben, des conditions favorables à un important accroissement numérique. Elles y ont développé une culture caractéristique dotée de la métallurgie du fer et de l'agriculture. La possession d'outils en fer leur a permis d'attaquer progressivement, par la hache et le feu, les lisières de la forêt et de s'étendre ainsi vers l'Ouest à mesure que croissait la densité du peuplement. Dans ce mouvement vers l'Ouest, tout s'est passé, écrit GOUROU (1955), «comme si la pression démographique exercée de l'Est avait fui par tous les passages possibles». Cette poussée s'est heurtée, à l'Ouest du Graben, à la barrière des monts Mitumba laquelle ne présente que deux brèches vers la Cuvette Centrale: la plaine de Beni (alt. 1200 m) et celle de Ngweshe (alt. 1800 à 2000 m). Il en résulte que les régions basses à l'Ouest des Mitumba sont restées inoccupées (moins de 5 habitants au km<sup>2</sup>).

Les populations actuelles du Kivu montagneux se rattachent par de nombreux traits socio-économiques et culturels à la grande civilisation bantoue interlacustre, citée plus haut, au même titre que celles du Rwanda, du Burundi et que certains groupes de l'Ouganda et de la Tanzanie. Les ethnies les plus importantes, en partant du Sud vers le Nord, sont: les Furiiri (entre les lacs Tanganyika et Kivu), les Shi (au sud-ouest du lac Kivu), les Hunde (au nord-ouest du Kivu) et les Nande (au nord-ouest du lac Amin).

Au XVI<sup>e</sup> siècle, la zone interlacustre connut une immigration de castes pastorales et guerrières appartenant au groupe ethnique qualifié de Hamites et présentant les caractères physiques et culturels des peuples d'origine steppique ou subdésertique. Leur origine lointaine serait l'Éthiopie, mais la tradition orale situe leur provenance récente dans la haute vallée du Nil. Ils sont désignés sous le nom de Tutsi au Rwanda et au Burundi, de Hima en Ouganda et de Luzi au Kivu.

Ces envahisseurs ont conquis le pouvoir économique et politique sur les autochtones et constitué des États caractéristiques régis par des clans dynastiques le plus souvent apparentés et comportant une stratification sociale en groupes hiérarchisés.

L'anthropologie sociale a montré comment l'imposition de nouveaux droits fonciers et l'usufruit du gros bétail avaient progressivement transformé

les anciens clans de cultivateurs en une « clientèle » assujettie à concéder des prestations en vivres et en travail (MAQUET 1969, VIDAL 1974). Ce régime de subordination se concrétise par le contrat Oubouaké liant le paysan cultivateur au clan dominant.

Les Luzi, caste régnante au Kivu, n'ont jamais eu l'importance numérique des Tutsi du Rwanda (moins de 1% de la population contre 16%); de même, le bétail au Kivu n'a jamais atteint une tête par homme adulte alors qu'au Rwanda il atteignait 2 à 3 têtes.

C'est dans le cadre très particulier de cette histoire et de ces institutions que se sont développées les très fortes densités de population observées dans la zone occidentale du Graben, telles qu'elles se présentent actuellement (cf. tabl. 1, p. 38).

Les raisons de ces fortes densités ont été discutées par GOUROU (1953, 1955). L'auteur repousse les explications strictement écologiques: relief, sol ou altitude au bénéfice des éléments socio-historiques qui résultent de l'exposé ci-avant. Ces éléments historiques ont conduit à l'institution de sociétés connaissant une organisation relativement perfectionnée de l'espace et capable de capitaliser, par la paix intérieure et extérieure, les excédents de population. Ces excédents sont, au Kivu, particulièrement importants. Ils le sont plus encore au Rwanda.

## 1.5. La démographie

### 1.5.1. Croissance démographique

Par contraste avec la Cuvette centrale du Zaïre quasi inhabitée, la région interlacustre est connue pour ses hautes densités de population, en moyenne largement supérieures à 50 habitants au km<sup>2</sup>.

En 1922, dans un de ses premiers recensements, l'Administration belge estimait la population de la Province du Kivu, sans le Maniema, à 729 000 personnes. Ce chiffre passe en 1950 à 1 270 000 et, en 1970, à 2 739 000. Le Kivu est ainsi la province la plus peuplée du Zaïre.

Cet accroissement correspond à un taux moyen annuel de 29‰ de 1920 à 1970 se décomposant en 20‰ de 1920 à 1950 et 39‰ de 1950 à 1970. Ce dernier taux résulte à la fois d'une forte immigration au Nord provenant du Rwanda et de l'Ouganda et d'un accroissement naturel important.

L'émigration rwandaise vers le Zaïre est séculaire; elle fut organisée systématiquement par les autorités belges vers la zone de Masisi jusqu'en 1955 et aboutit à l'installation d'environ 170 000 Rwandais. Le recensement de 1970 dénombre 335 000 Rwandais installés principalement au Nord-Kivu.

L'accroissement naturel du Kivu était évalué en 1955-1957 à 28‰. Il correspond à un taux de natalité de 50-52‰ et un taux de mortalité de 22-24‰. Si l'on différencie les régions, l'accroissement global annuel (y compris l'immigration) entre 1959 et 1970 est de 43,8‰ pour le Nord et de 24,4‰ pour le Sud.

Une conséquence directe du taux croissant des naissances est l'évolution

du rapport entre nombre d'enfants (âge inférieur à 18 ans) et population totale; il est passé de 34,6% en 1936 à 49,4% en 1959 et à 52% en 1970.

### 1.5.2. La natalité

La natalité élevée résulte d'abord d'une nuptialité forte. En effet, au Kivu, la proportion de femmes mariées est de 83% pour la classe d'âge de 15 à 45 ans et de 93% pour la classe d'âge de 35 à 45 ans.

Les unions sont relativement stables, comme souvent dans les populations où la dot se réalise sous forme de bétail. L'âge au premier mariage est de 18 ans. Le mariage monogamique est le plus fréquent (60 à 70% des mariages). Le pourcentage de femmes stériles est relativement bas (5 à 6%) (ROMANIUK 1967); dès lors, le nombre de femmes « aptes à procréer » est élevé.

Dans tous les chapitres qui suivent, ainsi que dans l'annexe II, il sera fait mention:

- a) d'une part, de femmes stériles, c'est-à-dire physiologiquement incapables de procréer un enfant vivant (stérilité primaire ou secondaire) et de femmes fertiles, c'est-à-dire non stériles;
- b) d'autre part, de femmes aptes à procréer (celles-ci sont les femmes fertiles placées dans les conditions sociales propices à la fécondation), et de femmes inaptes à procréer qui comprennent les femmes stériles et les femmes fertiles non placées dans les conditions sociales propices à la fécondation (femmes célibataires, veuves, divorcées, ménopausées).

Les traditions très vivaces, en milieu rural, en matière matrimoniale permettent de considérer comme négligeables, les naissances irrégulières.

La haute natalité en milieu rural provient aussi d'intervalles entre naissances vivantes de 34 et 36 mois. La descendance finale des femmes aptes à procréer est ainsi de 7 à 8 enfants.

En régime de fécondité naturelle, les intervalles intergénéstiques de longue durée sont liés principalement à la durée d'allaitement (2 ans) et à la durée de l'aménorrhée *post partum*, cette période de temps mort qui suit l'accouchement durant laquelle la femme est inféconde. A la durée de l'aménorrhée *post partum* s'ajoute le délai de conception qui est de 7 à 8 mois, quand il n'est pas prolongé par des tabous sexuels et la durée de grossesse de 9 mois. Pour obtenir la durée moyenne de l'intervalle entre naissances, il faut encore ajouter quelques mois dus à la mortalité fœtale. Par ailleurs, si l'enfant allaité meurt avant 1 an, la période de temps mort de la femme est écourtée.

Au Kivu, en milieu rural, la durée d'aménorrhée *post partum* est évaluée à 19 mois (CARAËL 1976). Des durées d'aménorrhée *post partum* d'une telle importance sont observées dans d'autres sociétés rurales (Inde: Baroda 18 mois; Bangladesh: 19 mois). Sur les causes et les facteurs qui agissent sur l'aménorrhée *post partum*, la connaissance est encore imprécise.

Les observations faites dans les pays industrialisés montrent que l'allaitement et la durée d'allaitement prolongent la durée d'aménorrhée *post partum* jusqu'à environ un an au maximum.

Plusieurs publications récentes (FRISCH & REVELLE 1971, FRISCH & MCARTHUR 1974, VIS *et al.* 1975b) avancent le faible état nutritionnel de la femme comme un facteur qui pourrait expliquer les durées inusitées d'aménorrhée *post partum* (au-delà d'un an). On sait que sous le coup de la famine, les femmes peuvent devenir aménorrhéiques (LE ROY LADURIE 1973). Dès que l'alimentation devient normale, les femmes retrouvent leurs règles.

Au Kivu même, on a pu montrer que, selon le milieu, rural ou urbain pauvre, la durée d'aménorrhée *post partum* passe de 18 à 9 mois, vraisemblablement à cause d'apports nutritionnels différents (CARAËL 1976). L'hypothèse d'une influence directe ou indirecte de la malnutrition sur la fécondité est reprise dans cette étude; elle entraîne de nombreuses répercussions sur la natalité.

Il est vraisemblable que les intervalles entre naissances étaient plus longs au début du siècle (plus de 4 années) et cela sous l'effet de plusieurs facteurs: les famines, l'instabilité créée par l'intervention européenne et l'importance des tabous sexuels. En effet, si les tabous sexuels *post partum* sont inconnus au Kivu, il existait autrefois une série d'interdits sexuels de courte durée (1 à 3 mois) liés à la vie sociale (mariage, décès) et agricole (premier semis, récolte, etc.). Avec l'acculturation qui a accompagné la colonisation, ces interdits ont progressivement perdu de leur importance.

### 1.5.3. La mortalité

La mortalité globale était estimée en 1955 proche de 25‰; les taux spécifiques de mortalité ne sont pas connus, mais diverses estimations permettent d'avancer un taux de mortalité infantile de 130‰ pour le Rwanda (NEESEN 1956, MOL 1965, SOM 1968) et de 100 à 130‰ pour le Kivu (Rapport CEMUBAC 1975).

La mortalité juvénile reste élevée (40‰ environ) à cause de la malnutrition et des infections.

Rien ne permet de penser que la malnutrition globale ait décréu depuis 1955 de façon significative. La couverture médicale est restée faible (un médecin pour 70-80 000 habitants en 1968) et l'on peut mettre en doute le fait qu'une infrastructure sanitaire puisse faire baisser la mortalité en dessous de 5 ans de façon significative. L'action de la colonisation belge a porté davantage sur la surmortalité (famines, épidémies) que sur la mortalité courante.

Il est probable qu'avant 1930, la mortalité dépassait 30‰ (NEESEN 1956), elle serait tombée à 25‰ après 1945. ROMANIUK (1967) propose, pour le Congo en général, une espérance de vie de 30 ans en 1935-1937 qui, en 1950-1953, passe à 35 ans. Le Rwanda, qui présente de grandes similitudes avec le Kivu, connaissait en 1970 un taux brut de mortalité estimé à 25-26‰ (Enquête démographique nationale, 1971).

### 1.5.4. Taux d'urbanisation et densités de populations

Nous considérons comme urbaines les populations de Bukavu et de Goma qui comptaient en 1970, 134 861 et 48 643 habitants. Les taux de



croissance de ces deux villes sont extrêmement élevés: respectivement 9,5% et 19,8% pour les 20 dernières années; ils tiennent à une très forte immigration de ruraux provenant en majorité (80%) du Kivu. La population citadine ne représente encore que 5% de l'ensemble et rien ne dit que le mouvement d'immigration continuera avec la même ampleur à l'avenir.

Concernant plus particulièrement le Kivu montagneux, l'analyse des statistiques de la population permet d'établir l'évolution de la population et de la densité de population de 1950 à 1970 (tabl. 1 ci-dessous).

On remarquera que la densité au km<sup>2</sup> atteignait 53 habitants en 1970 et avait plus que doublé en 20 ans. La population totale de la région étudiée doit, actuellement, être proche de 2 millions d'habitants.

En dehors des villes, la population a plus que doublé dans les Zones administratives de Beni et de Kalehe, elle s'est accrue fortement à Lubero. Il en est de même à Masisi où la croissance est due partiellement à l'immigration dirigée de familles originaires du Rwanda. La Zone de Kabare, déjà surpeuplée, s'est allégée d'une partie de sa population grâce à l'attrait de la ville de Bukavu.

Il est évident que, de 1960 à 1970, l'ampleur des immigrations en provenance de l'Est, a influencé considérablement le taux d'accroissement de la population, le portant à 3,5% pour la période 1950-1970. Toutefois, dans la

**Tableau 1.**  
*Évolution de la population et de la densité  
de population entre 1950 et 1970 (Kivu montagneux)*

Divisions administratives	Superficie approx. (3) km <sup>2</sup>	Population		Densité hab. km <sup>2</sup>	
		1950	1970	1950	1970
Ville de Bukavu	60	28 345	134 861	472	2 255
Kalehe	6 000	72 913	186 272	12	31
Kabare <sup>(1)</sup>	4 000	250 505	447 395	63	112
Goma <sup>(2)</sup>	300	13 000	74 835	43	249
Beni	6 000	125 111	348 566	21	51
Lubero	14 000	222 677	363 809	16	26
Masisi	4 000	138 806	273 920	35	68
Total	34 360	851 357	1 829 658	25	53

(1) Y compris Walungu.

(2) Y compris le centre urbain de Goma.

(3) Les superficies approximatives ci-dessus ont été estimées sur documents cartographiques après déduction des zones non accessibles à l'occupation humaine (parcs nationaux, lacs,...).

mesure où les règlements nationaux freinent de plus en plus les mouvements de population, nous n'avons pas retenu ce facteur comme l'un des éléments susceptibles d'influencer le Kivu à long terme.

Dès à présent (les perspectives démographiques seront analysées dans la deuxième partie de l'étude), on peut dire que la projection dans l'avenir de la croissance actuelle éclaire d'un jour inquiétant le devenir des populations du Kivu montagneux. Cette inquiétude est renforcée par celle que provoque les progrès de la malnutrition.

On observe, en effet, en plusieurs zones, que les densités de population dépassent les maxima écologiquement possibles dans un système économique basé sur l'agriculture de subsistance.

## **1.6. L'agriculture coutumière**

### *Note liminaire*

Nous avons pris comme type et décrit ci-dessous l'agriculture traditionnelle en pays Shi et plus particulièrement en Zone de Kabare. Les systèmes agricoles prévalant en d'autres parties de la région étudiée s'en écartent parfois considérablement. C'est ainsi que dans les terroirs de haute altitude, supérieurs à 2000 m, qui constituent notamment une grande partie du territoire de Lubero, on pratique d'autres cultures (pois, froment, pomme de terre) et d'autres assolements. On observe une égale diversité du module alimentaire.

Il n'a pas été tenu compte de cette particularité dans les simulations mathématiques présentées dans la seconde partie de notre étude. Les conditions régnant en pays Shi ont été extrapolées à l'ensemble de la région étudiée. Cette extrapolation n'enlève rien à la pertinence des conclusions. Tous les calculs, en effet, sont basés sur la productivité des sols exprimée en calories et sur la dégradation de cette productivité sous l'effet de la poussée démographique. Or, ces deux éléments varient en fait très peu dans les divers systèmes agricoles considérés qui tous présentent les mêmes caractéristiques générales d'autosubsistance et pratiquent les mêmes méthodes extensives.

### *1.6.1. Caractéristiques générales*

Aux yeux des premiers observateurs européens, les paysages du Kivu se présentaient comme une succession infinie de vastes collines aux sommets recouverts de la masse sombre des bananiers et aux versants herbeux où ça et là paissaient des troupeaux de bovins et de chèvres.

Les bananiers dissimulaient les rugos (ensemble des cases appartenant à une famille, généralement entouré d'une enceinte) et la majeure partie des champs vivriers, de sorte que longtemps la forte densité de la population fut méconnue.

Entre les collines pourtant, certains bas-fonds humides et les abords des grands marais étaient cultivés. L'habitat très dense mais disséminé, éparpillé

en minuscules exploitations, tel qu'il se retrouve aujourd'hui, est caractéristique d'une organisation socio-économique basée sur la famille restreinte fonctionnant comme unité de production. Au sein de celle-ci, c'est sur la femme que repose l'essentiel du travail agricole quotidien, ce qui impose une limite physique à la superficie des champs cultivés. Si l'on donne à la femme adulte une capacité de production d'une unité, l'homme adulte n'accomplit que 30% de ces fonctions (HECQ *et al.* 1963). Les exploitations ont des dimensions de 0,5 à 1,5 ha pour une famille qui comprend 4 à 5 personnes en moyenne.

Dans les évaluations chiffrées admises par les simulations mathématiques, nous avons adopté 55 ares environ comme superficie de cultures annuelles réalisable par une femme, soit 74 ares pour un jeune ménage (un homme et une femme adultes), ou encore 27 ares comme norme pour une personne adulte. Ceci ne comprend pas les superficies consacrées aux cultures pérennes (bananeraies). Cette norme, relativement basse, semble indiquer un sous-emploi de la force de travail de la population. Cette opinion est confirmée par les observations suivantes.

Souvent, en effet, on constate que des cultures de rapport sont pratiquées en plus des cultures annuelles, ou encore que les hommes sont salariés agricoles sans que la superficie des cultures vivrières du ménage diminue.

Les contraintes du climat sur le calendrier agricole et l'incidence du portage pourraient partiellement expliquer ce sous-emploi. Ce point est discuté plus en détail en annexe II.

On pourrait aussi incriminer l'existence d'une limitation volontaire des superficies cultivées, soit que le paysan hésite à remettre en culture des jachères insuffisamment reconstituées, soit que le pouvoir politique coutumier, détenteur du bétail, freine l'extension des cultures aux dépens du pâturage.

En soixante ans, le paysage initial esquissé ci-avant s'est modifié: les bananiers ont gagné les versants, les cultures vivrières également, refoulant le bétail vers des terres moins fertiles. Cependant, l'unité de paysage est restée la même et repose sur trois éléments essentiels: le bétail, la bananeraie et les champs vivriers. Ces éléments sont détaillés ci-après.

### *1.6.2. Le bétail*

Bien que la vache soit essentielle dans les alliances et les échanges matrimoniaux, le bétail n'a jamais revêtu, chez les cultivateurs-éleveurs du Kivu, l'importance quasi sacrée qu'il avait au Rwanda. La viande est consommée au même titre que le lait.

En 1922, le cheptel, pour l'ensemble du Kivu, était estimé à 115 000 bêtes bovines (b.b.), soit, pour une population de 729 000 habitants, un rapport de 0,157 b.b./habitant ou encore 0,79 b.b./homme adulte, dans l'hypothèse de 1 homme adulte pour 5 habitants.

Pour autant que les statistiques soient fiables, il semble que le cheptel bovin soit actuellement en régression. On mentionne, en effet, les effectifs ci-après (Économie agricole de la Province du Kivu, 1957): 1954: 173 895; 1955: 183 895; 1956: 187 649. Actuellement, le cheptel est passé à 163 000 b.b.

pour quelque 2 800 000 habitants, soit un rapport de 0,06 b.b./habitant ou encore 0,3 b.b./homme adulte. Les statistiques relatives au seul Kivu montagnoux ne sont pas disponibles.

Par rapport à 1922, il reste toutefois un assez substantiel accroissement numérique du cheptel mais une réduction drastique du rapport entre le cheptel et la population, c'est-à-dire un déclin caractérisé des ressources matérielles des habitants et notamment des ressources potentielles en protéines animales. Ce déclin ne peut résulter que de l'accroissement numérique de la population entraînant l'extension des bananeraies et des cultures vivrières aux dépens des meilleurs pâturages. On pourrait évoquer aussi le fait que la faible rentabilité de l'élevage bovin, dans des conditions du milieu considéré, n'incitaient pas les familles à accroître leur cheptel ou à en intensifier l'exploitation. Plusieurs études entre 1955 et 1960 ont montré, en effet, que les terres utilisées au pâturage peuvent représenter le tiers de la superficie d'une communauté et n'intervenir que pour 4% dans le revenu de celle-ci (TONDEUR 1952, KEVERS 1956).

Toutefois, le rôle social du bétail et le peu de réponse des populations aux incitants économiques ôtent à cette explication beaucoup de sa pertinence. La faible rentabilité du bétail résulte du caractère très extensif des élevages : sa seule nourriture est le pâturage naturel. Celui-ci est de plus en plus pauvre à mesure de l'extension des cultures sur les meilleures terres. La réduction progressive des surfaces disponibles, allant de pair avec l'accroissement numérique du cheptel, conduit à une surpécoration croissante, à la dégradation des herbages et à l'érosion du sol. La production de lait et de viande déjà faible au départ se réduit encore.

A noter que le fumier est utilisé dans la bananeraie. Celle-ci lui doit souvent sa haute productivité, source d'importants revenus.

Il y aurait lieu d'en tenir compte dans l'évaluation de la rentabilité des élevages. Par la pratique du pâturage des jachères, les terres de culture bénéficient également d'une certaine fumure par les défécations des animaux. Actuellement, du fait du raccourcissement de la durée des jachères, cet effet est fortement atténué, si pas annulé. Par ailleurs, la surcharge de bétail sur les jachères dégrade le couvert végétal. Elle réduit l'effet bénéfique de l'enracinement des graminées sur la reconstitution de la structure du sol détruite par la culture. Elle ouvre à l'érosion des terres en pente, tant et si bien que, à l'exception des bananeraies et des « jardins de case » (voir ci-après), le rôle du bétail devient négatif.

### 1.6.3. *La bananeraie*

La bananeraie, tout comme le bétail, joue un rôle social majeur mais, à l'inverse de celui-ci, elle prend une valeur économique considérable : sa production peut apporter jusque 80 à 90% du revenu monétaire du cultivateur. La raison en est que la quasi-totalité de la production est transformée en bière de banane et que cette dernière est le principal, quand pas le seul, produit

commercialisé. Dans certaines enquêtes, le revenu de la bananeraie se montre même parfois supérieur à celui du salariat (TONDEUR 1952).

Cette importance économique ressort également d'une étude en secteur de Walungu (KEVERS 1956) dont les résultats sont consignés ci-dessous :

Culture	Production ha	Valeur unitaire F.C.	Valeur produite par ha-F.C.
Haricots	300 kg	3,70	1 100
Patates douces	7 000 kg	0,70	3 900
Sorgho	1 500 kg	4,10	6 150
Manioc (farine)	2 000 kg	3,80	7 600
Bananes (bière)	7 500 litres	1,33	9 975

(Valeurs en francs congolais 1956: 100 francs = 2 US dollars).

Outre son rôle économique, la bière de banane constitue un des supports essentiels de l'activité sociale, mais son importance dans l'alimentation est surtout qualitative. Sur le plan nutritif, cette bière n'intervient, en effet, que pour 13% dans les apports caloriques (VIS *et al.* 1969). L'espèce cultivée, le bananier plantain, est traitée au Kivu en culture permanente. Sa production est maintenue forte et constante grâce notamment à son implantation sur les meilleures terres, aux apports de fumures animale, humaine et végétale et à l'excellente protection contre l'érosion par le couvert permanent et la couverture du sol. Localisée initialement au sommet des collines, la bananeraie est progressivement descendue sur les versants, ce qui est bénéfique eu égard à la protection de ceux-ci contre l'érosion, mais maléfique du fait que cette extension n'a pu se faire qu'au détriment des cultures vivrières, beaucoup plus indispensables au point de vue nutritionnel, et des pâturages.

Les exemples repris au tableau 2 ci-après, montrent la place que prend la bananeraie dans la superficie des cultures d'une famille en pays Shi soit 47% dans le premier cas et 25% dans le second, chiffres à rapprocher de sa contribution, mentionnée ci-avant, à l'apport nutritionnel.

Les variétés de plantain cultivées sont les variétés à bière («bananes à pombe»), les variétés à farine sont exceptionnelles. Selon les enquêtes au Bushi mentionnées ci-avant, une bananeraie à pombe produit en moyenne 12 500 kg de régimes par ha et par an soit 6 250 kg de pulpe donnant 3 125 litres de bière. Dans les conditions les plus favorables, on obtient par ha jusque 8 000 litres de bière à 5% d'alcool. En raison de son rôle économique et social, la bananeraie à pombe est la culture principale de la Région eu égard tant à la superficie (15% des terres non aliénées, au Bushi) qu'à la production, à la consommation et au revenu monétaire. C'est aussi — et ceci conditionne toute intervention en vue d'une modification du système agricole coutumier — la culture à laquelle est attachée la plus haute valeur affective et sociale.

On conçoit, dès lors, que le cultivateur cherche à maximiser la production de bananes ou de bière avec comme seule réserve la nécessité de produire assez de vivres pour subsister. Une évolution inverse serait très peu vraisemblable.

#### 1.6.4. *Les champs vivriers*

Les cultures vivrières coutumières se présentent sous trois formes : le jardin de case, les champs vivriers en collines et les cultures de bas-fonds.

Le jardin de case, généralement très exigü, est accolé au rugo. Il est fertilisé par les déchets de celui-ci et éventuellement par apport du fumier. On y cultive, en mélange, diverses plantes traditionnelles (tabac, colocases, gombos, canne de bouche, courges, ignames) ou introduites (arachides, maïs). La culture est permanente, sans jachère.

Les champs vivriers en collines constituent, avec la bananeraie, l'activité principale. Anciennement n'y étaient cultivés que le haricot, le sorgho et la patate douce auxquels sont venus s'ajouter les apports de la période coloniale, manioc et plus rarement maïs. L'assolement présente de nombreuses variantes adaptées aux microclimats locaux. Nous avons pris comme base et extrapolé à l'ensemble de la Région l'assolement traditionnel pratiqué par les Shi dans la région du lac Kivu et étudié par le Groupe de Planning agricole de l'INEAC (HECQ 1959).

Cette région présente deux saisons pluvieuses et permet, pour les plantes à courte durée de végétation, 2 campagnes par an. Les sols sont soit dérivés de basalte et, dans ce cas, particulièrement fertiles, soit issus des schistes, grès et quartzites du Burundien inférieur. Les bananeraies et les cultures vivrières sont établies sur sols basaltiques.

**Tableau 2.**

*Affectation des superficies (en ares)  
dans le système coutumier et modifications  
proposées par les agronomes selon la vocation des sols*

#### 1. Paysannat de Mwendu (Bushi) d'après HECQ (1959).

Superficies en ares par homme adulte.

Affectations	Système coutumier	Vocation
Bananeraie	34	37
Cultures vivrières en collines + jachères	33	53
Cultures vivrières en bas-fonds	3 à 4	11
Cultures industrielles	0	25
Boisement	indéterminé	5
Pâturages (ares par tête)	(140)	(86)
Total (sans les pâturages)	± 70	113

2. Région de Walungu (Bushi) d'après KEVERS (1956).  
Superficies en ares par homme adulte.

Affectations	Système coutumier	Vocation
Bananaie	20,5	20,5
Cultures vivrières + jachères	67	79
Boisement	0,6	13
Pâturages (ares par tête)	(58)	(32)
Total (sans les pâturages)	88	113

N.B.: Les aménagements souhaités par les agronomes de l'administration visaient à tenir compte de la vocation des sols, et à valoriser sur le plan monétaire la production en milieu coutumier. Ces améliorations passaient par une extension des surfaces cultivées et une diminution des pâturages allant de pair avec leur amélioration.

Des chiffres similaires sont cités par KEVERS (1952).

Les sols dérivés du Burundien et les versants basaltiques escarpés sont réservés au pâturage permanent.

L'assolement est du type biennal avec intercalation d'une jachère courte de 6 mois à 1 an; il peut présenter diverses combinaisons telles que:

- année 1: patates suivies de haricots
- année 2: idem
- année 3: jachère
- année 4: patates suivies de haricots
- etc.

ou encore:

- année 1: sorgho suivi de haricots
- année 2: idem
- année 3: jachère
- année 4: sorgho suivi de haricots
- etc.

ou encore:

- année 1: sorgho suivi de haricots avec intercalaire sorgho
- année 2: idem
- année 3: jachère
- année 4: sorgho suivi de haricots avec intercalaire sorgho
- etc.

ou encore:

- années 1 et 2: patates (4 cultures)
- année 3: jachère
- années 4 et 5: patates (4 cultures)
- etc.

Le maïs remplace parfois une partie du sorgho. L'introduction du manioc permet de nouvelles combinaisons telles que:

- année 1: sorgho suivi de haricots
- année 2: manioc avec intercalaire haricots en première saison
- année 3: jachère
- etc.

Ces nombreuses variations de l'assolement traditionnel ont une certaine incidence sur la nature des produits et sur leur valeur nutritionnelle. A ce dernier point de vue, il est toutefois possible de déterminer les moyennes représentatives dont question ci-après. En ce qui concerne la dégradation des sols, nous les considérons comme équivalentes.

Après plusieurs répétitions de ce cycle biennal (dans lequel la jachère courte peut être ramenée à 6 mois), la parcelle passe en jachère longue utilisée comme pâturage temporaire et durant laquelle se reconstitue la structure et la fertilité du sol. Grâce au caractère très conservatoire de cet assolement traditionnel, et grâce à la grande fertilité originelle des argiles de basalte, la productivité des terres se maintient.

Il n'en sera plus de même, comme nous le verrons plus loin, lorsque les circonstances (tension démographique) entraînent le raccourcissement ou la suppression des jachères et du pâturage temporaire, *a fortiori* sur les sols dont la fertilité originelle et la résistance à l'érosion sont moindres.

Les rendements sont toutefois assez faibles. Deux enquêtes agricoles au Bushi (HECQ 1959, HECQ & LEFEBVRE 1959) indiquent les rendements ci-après:

**Tableau 3.**  
*Rendement des cultures au Bushi.*

Culture	Produit	Rendement par ha	
		en kg	en millions de kg-calories
Sorgho	grain sec	1 200 à 1 800	4,20 à 6,30
Haricots	grain sec	700 à 750	1,82 à 1,95
Patates douces	racines fraîches	8 500 à 12 000	9,35 à 13,2
Manioc	racines fraîches	12 000	
	soit farine	3 400	11,90
Maïs en champ	grain sec	400	1,40
Maïs en jardin de case	grain sec	500 à 2 000	1,75 à 7,00

Les durées de végétation sont:

haricots et maïs	3½ à 4 mois
sorgho	5 à 6 mois
patates	6 à 8 mois
manioc	12 à 18 mois



En moyenne, du fait de la double récolte annuelle des plantes à cycle court, un ha sous assolement peut donner 137 ares de récolte par an (jachère et pâturages temporaires non compris).

Pour 1 ha sous culture (bananeraie comprise, jachère courte exclue), selon HECQ et LEFEBVRE (1959), l'assolement coutumier Shi donnerait en moyenne les récoltes exprimées en kg et en kilocalories reprises au tableau 4.

On remarquera, dans ce tableau, le rendement du maïs estimé à 1500 kg par ha, chiffre optimiste comparé aux rendements détaillés au tableau 3.

En fait, la culture du maïs est très peu répandue en pays Shi, les rendements de l'ordre de 1500 à 1000 kg ne sont obtenus que de quelques mètres carrés semés dans le jardin de case et bénéficiant de conditions particulièrement favorables.

**Tableau 4.**  
*Production en kg et en calories d'un ha type sous culture.*

Culture	Emblavures annuelles (ares)	Rendement par ha (kg)	Production	
			kg	kcal
Maïs A	1	1 500	15	52 500
B	3	1 500	45	159 500
Sorgho A	13	1 200	156	530 400
B	17	1 200	204	693 600
C	3	1 200	36	122 400
Manioc $\frac{A + B \times 2}{3}$	6,5	3 400	221	773 500
Patates A + B	20	8 500	1 700	1 870 000
Haricots A	20 + 6,5	700	185	481 000
B	14	700	98	254 800
C	3	700	21	54 600
Bananiers A + B	30	(3 1251)	(9371)	374 800
Total	137		2 681 kg et 9371	5 365 100

A: 1<sup>re</sup> saison.

B: 2<sup>e</sup> saison.

C: hors assolement: cultures de bas-fonds (voir plus loin).

Manioc: 10% de la superficie, soit 10 ares, maïs récolte à 18 mois d'où récolte annuelle sur 6,5 ares avec une culture intercalaire de haricots.

Production calorique sans les bananiers: 4 990 300 kcal pour 70 ares sous culture (avec 107 ares d'emblavures annuelles), soit, pour un ha de cultures vivrières une production calorique de 7 128 000 kcal que nous arrondissons à 7 millions.

L'apport calorique annuel de 1 ha en assolement coutumier correspond aux besoins énergétiques moyens de 7 individus, en comptant la bananeraie, de 6,5 individus sans la bananeraie.

La superficie moyenne par exploitation sous assolement est conforme à la norme définie plus haut. Elle se situe aux environs de 50 ares (jachère non comprise), la superficie sous bananiers à 24 ares.

Ajoutons que les apports nutritionnels provenant de la cueillette de produits spontanés et de la chasse sont quasi nuls vu l'absence de ressources de la Région. A noter que le sorgho est, dans une proportion variable (75% au Rwanda, selon DUMONT 1960), consacré à la préparation de boissons fermentées, soit levain pour bière de bananes soit bière de sorgho. Le restant est consommé en farine. Le haricot et la patate douce — et plus spécialement le manioc — constituent donc la base de l'alimentation.

Les cultures de bas-fonds ne sont pratiquées que dans les terroirs disposant de bas-fonds cultivables. Traditionnellement, ces champs, assez exigus, étaient généralement consacrés à la patate douce cultivée sur des billons élevés séparés par de larges fossés, l'occupation du sol par la culture ne dépassant guère 50% de la surface. Le drainage rationnel des grands marais, à l'intervention de l'administration, a permis ultérieurement de libérer de plus vastes emblavures souvent consacrées au sorgho et au haricot.

Les cultures de bas-fonds, au même titre que la polyculture dans les champs vivriers sur collines, donnent une certaine assurance contre les aléas de la pluviosité.

#### *1.6.5. Régime foncier. Équipement*

Pour compléter ce tableau sommaire de l'agriculture traditionnelle du groupe Shi, ajoutons que le régime foncier est particulièrement complexe. Une distribution fondamentale s'y établit entre les « possédants » (45% des exploitants dans le Bushi riverain) et les non-possédants ou « clients » opérant dans le cadre du contrat foncier « Kalinzi ».

L'outillage est sommaire et comprend traditionnellement la houe et le « muholo » tenant à la fois de la faucille et du coupe-coupe. S'y sont ajoutés la machette ou coupe-coupe et le croc de défrichage à 4 dents. La traction animale n'est pas pratiquée et il n'y a aucun équipement de transport. Tous les transports se font par portage.

Le tableau 4 permet d'estimer l'importance que peut présenter le poste « transport » dans les activités paysannes. La récolte pour une exploitation de 1 ha comporte, en effet, plus de 2 t de produits secs (farine et grains) provenant de quelque 3,5 t de produits bruts et quelque 9 hl de bière provenant de 3,6 t de régimes à porter du champ au rugo.

Le facteur distance champ-rugo est donc primordial.

### **1.7. Malnutrition, disettes et famines**

#### *1.7.1. Aperçu historique*

De mémoire d'homme, les famines ont toujours existé dans les régions interlacustres d'Afrique centrale. L'alimentation des sociétés agricoles et

pastorales des hauts plateaux interlacustres était composée d'haricots, de sorgho et d'un peu d'éleusine (DE L'ÉPINE 1929, JASPAR 1929). Un certain équilibre alimentaire était vraisemblablement obtenu grâce aux apports de l'élevage. Cette alimentation était pauvre en graisses et en protéines et les apports alimentaires subissaient d'importantes fluctuations (COLLE 1937).

Dans l'ensemble, les famines se sont présentées comme des fléaux locaux, sans qu'il y ait corrélation bien nette entre la densité de la population et l'existence du problème des famines (LEURQUIN 1960, 1963). De 1897 à 1944, EVERAERTS (1947) décrit au Rwanda 13 famines ou disettes importantes. Les causes en furent multiples: sauterelles à Cyangugu en 1897, sécheresse en 1900, pluies trop abondantes en 1905, pluviosités peu importantes et le *Phytophthora infectans* qui anéantit la culture de pommes de terre et de patates douces en 1943-1944.

A ces causes, il convient d'en ajouter d'autres plus profondes comme la faiblesse des structures économiques entravant les transferts d'excédents d'une région à l'autre (LEURQUIN 1960) et l'influence du pouvoir politique qui, selon VIDAL (1974), limiterait l'accès à la terre au-dessous du minimum nécessaire par famille. Il est difficile d'évaluer la mortalité qu'entraînaient les famines. La disette de 1928-1929, dans le territoire de Rukira fit beaucoup de morts et il s'ensuivit l'émigration d'un tiers de la population. La famine de 1943-1944, au Ruanda-Urundi, aurait fait près de 36 000 victimes.

Au Kivu montagneux, la gravité et la fréquence des famines semblent avoir été atténuées par rapport au Rwanda par la moindre densité démographique et par diverses circonstances mal précisées. Plusieurs famines sont toutefois rapportées au début du siècle; elles pourraient être en relation avec une certaine perturbation due à l'arrivée des premiers Européens. L'administration belge signale des famines en 1916-1917, 1924-1925 et une disette grave en 1944, au même moment qu'une famine sévère sévissait sur l'ensemble du Rwanda. Ces famines et disettes sont accompagnées ou suivies d'épidémies telles que rougeole et variole. Le taux de mortalité n'est pas connu mais peut être assez élevé pour que la population y réponde par des migrations vers les zones moins touchées telles que Butembo.

Les causes profondes conditionnant l'apparition et la propagation des disettes étaient pour l'administration belge les suivantes (JASPAR 1929, EVERAERTS 1947): le caractère saisonnier des cultures traditionnelles dépendant d'une situation climatique défavorable; l'extrême densité de la population; le cheptel trop important nécessitant une surface de pâturage excessive.

Vers les années 1925-1930, dans l'ensemble du Congo, l'Administration belge instaurait les cultures éducatives et imposait à chaque chef de famille la plantation d'une surface déterminée d'une ou de plusieurs cultures désignées en fonction des besoins ou des objectifs économiques de chaque région. Pour les régions interlacustres, un arrêté du 18 juin 1926 pris en exécution par l'Ordonnance-Loi du 7 novembre 1924 impose à tout chef de famille la mise en culture d'une superficie de 5 ares au moins, de plantes non saisonnières (JASPAR 1929).

Pour le Kivu montagneux, l'imposition portait principalement sur la

culture de tubercules (manioc et patates douces) moins sujettes aux aléas climatiques et permettant une nouvelle récolte échelonnée. Le but était, d'une part, de réduire l'incidence des anomalies de la pluviométrie de manière à supprimer la cause principale des disettes tout en palliant les privations en période de soudure, d'autre part, de promouvoir la production d'excédents commercialisables en vue du ravitaillement des centres urbains naissants et de la main-d'œuvre des entreprises agricoles et minières. Du fait de ces mesures ou de toutes autres causes telles que le développement du salariat, des échanges et des transports, les famines proprement dites ne se sont pas reproduites après 1944, pas plus au Rwanda qu'au Kivu. Ceci n'exclut pas certaines pénuries aux périodes de soudure.

L'administration semblait donc avoir résolu le problème lorsque, en 1951, un premier rapport officiel fait état de 51 cas de kwashiorkor. Quinze ans plus tard, ce chiffre passe de deux à cinq pour cent de la population de moins de 16 ans.

Il devenait alors évident que la diffusion du manioc et l'extension des superficies cultivées en manioc avaient permis de déplacer temporairement le problème nutritionnel, sans le réduire. D'une malnutrition généralisée, on passait à une malnutrition plus spécifiquement protéique, les tubercules étant particulièrement pauvres en protéines.

Outre l'extension de la malnutrition, la réapparition de disettes périodiques (1962-1963, 1967, 1974) permettait d'affirmer le caractère toujours très précaire de la situation alimentaire de la population. De 1965 à 1970, plusieurs enquêtes de consommation alimentaire (Vis *et al.* 1969, 1972 et 1975a) ont confirmé les données cliniques et empiriques.

### *1.7.2. Observations de la mission médicale CEMUBAC et études nutritionnelles*

Les observations faites par la mission médicale du CEMUBAC au cours de plus d'une décennie dans la région du lac Kivu, permettent de se faire une idée de la forme de malnutrition la plus fréquemment rencontrée.

- Il y a un mélange de dénutrition globale et de malnutrition protéique (M.P.E. = malnutrition protéo-énergétique);
- Il s'agit généralement de grands enfants et non pas de nourrissons à l'âge du sevrage. L'âge, où le plus grand nombre de cas de malnutrition est observé, se situe entre 3 et 4 ans;
- La prévalence des cas est plus élevée au début de la saison des pluies, c'est-à-dire lors de la période de soudure protéique. Il a été démontré que lorsqu'un individu présente à la fois des symptômes de dénutrition et de malnutrition protéique, cette dernière est, pour des raisons de physiopathogénie, surajoutée à la première maladie;
- Il existe dans la presque totalité des cas de M.P.E. une anémie secondaire due à une carence en fer;
- Une avitaminose peut se rencontrer: c'est l'avitaminose A;
- Les infections jouent un rôle important surtout durant les premiers mois

- de la vie: elles sont vraisemblablement, avec les parasitoses, responsables de la cause particulière de la courbe de poids apparaissant au cours des premiers mois de la vie et donnant à celle-ci une allure très particulière;
- Les parasitoses intestinales sont fréquentes et peuvent atteindre près de 70% de la population. Il s'agit surtout d'ascaridose. La bilharziose se rencontre à certains endroits le long du lac Kivu. L'ankylostomiase est rare et la malaria, sauf en quelques endroits, n'est pas un problème majeur;
  - A tout ceci s'ajoute une malnutrition relative qui accompagne l'individu au cours de toute sa vie. Le bilan est un poids moyen de 55,5 kg et de 50,0 kg respectivement pour les hommes et les femmes adultes jeunes (pour une taille de 164,0 cm et de 154,0 cm).

On est mal renseigné sur la situation nutritionnelle au Kivu, dans le passé. Il est probable que l'alimentation était jadis basée sur des légumineuses (haricots) et des céréales (sorgho et maïs) mais vu l'extension, favorisée par l'administration belge, des cultures de manioc et de patates douces, la culture du sorgho diminue en importance. Un essai d'évolution historique de l'alimentation dans les pays interlacustres d'Afrique centrale a été tenté par Vis *et al.* (1975a).

Plusieurs enquêtes de consommation alimentaire ont été effectuées en Sud-Kivu: 1957-1959, par DE MAEYER & ROELS-BROADHURST (1959) à Luhihi, en 1966-1967 par VIS *et al.* (1969) à Idjwi Nord, à Idjwi Sud et à Kabare; et en 1969-1970 par VIS *et al.* (Rapport CEMUBAC, 1971) au Ngeshe et à la presqu'île de Minova. Toutes ces enquêtes ont donc été pratiquées au Bushi et au Buhavu.

Cinq aliments forment la très large majorité des apports nutritionnels: les haricots, les patates douces, le manioc, les bananes et la bière de banane et le sorgho.

L'apport énergétique (apport en calories) est, en moyenne de 5 à 15% au-dessous des normes établies par les experts de la F.A.O. et de l'O.M.S. (1973) (voir tabl. 5). Dans l'ensemble, aussi bien pour le Bushi que pour le Buhavu, 40 à 50% de l'énergie proviennent uniquement de deux aliments: les haricots et les patates douces, sauf au Ngeshe et à Minova où la consommation de manioc devient très importante.

Il n'existe pas de variations saisonnières des apports énergétiques sauf peut-être, mais d'une façon très minime, pour le Bushi au début de la saison des pluies (septembre, octobre et novembre) (fig. I.2.a, I.2.b et I.2.c).

Ce qui caractérise la région de Kabare et le Ngeshe, c'est la consommation importante de sorgho durant les quatre premiers mois de l'année.

L'apport protéique est, en moyenne, déficitaire au Bushi et surtout dans le Ngeshe; par contre, il est, en général, satisfaisant au Nord de l'île Idjwi. Mais il est indéniable que pour une partie de l'année, au début de la saison des pluies, l'apport protéique est partout insuffisant: il existe donc une période annuelle de soudure protéique. Il faut également tenir compte du fait qu'une partie des protéines est transformée en énergie. Au début de l'année, les apports de

Tableau 5.

	Apports énergétiques totaux	Apports énergétiques: haricots + patates douces	Apports énergétiques du manioc	Apports protéiques totaux	Apports protéiques des haricots
Ngeshe	88,0	28,8	35,7	66,0	15,4
Kabare	93,3	49,5	15,0	90,2	43,2
Shugi (Idjwi Nord)	98,7	42,5	15,8	107,9	65,4
Mpene (Idjwi Sud)	96,5	45,6	11,1	110,7	66,4
Minova	86,4	26,6	23,3	91,1	43,5

Les apports énergétiques et protéiques totaux sont exprimés en pour-cent des besoins théoriques tels que définis par le Comité Mixte d'Experts (F.A.O./O.M.S. - 1973).

sorgho (pauvre en lysine) et de haricots (pauvre en méthionine) sont complémentaires et l'apport protéique est satisfaisant.

Les populations du Bushi et du Buhavu vivent dans leur très grande majorité dans un régime proche de l'économie de subsistance. Aussi l'importance des apports alimentaires est-elle en étroite relation avec la production vivrière locale. Comme celle-ci est à peine suffisante pour couvrir les besoins, il n'y a presque pas de stockage des denrées. L'analyse quantitative des apports calculés sous leurs formes énergétiques ou protéiques montrent bien ce phénomène.

Il y a des périodes d'abondance et des périodes de disette (notamment au moment de la soudure entre les récoltes d'haricots: octobre, novembre et début décembre). Ces fluctuations, caractéristiques des régimes économiques de subsistance, sont surtout très nettes en ce qui concerne les apports protéiques, car pour les apports énergétiques, les fluctuations sont amorties par l'utilisation de farine de manioc, qui ne contient quasi pas de protéines.

Au Kivu, selon les régions, il apparaît que les besoins énergétiques sont couverts à 80-90% des minima théoriques recommandés par la F.A.O./O.M.S. 1965, alors que les besoins protéiques ne le sont que de 50 à 90%.

Pendant la période de soudure entre deux récoltes, qui est aussi celle des travaux de semailles, les déficits protéiques sont encore plus importants. L'apport lipidique est bas (4% des apports caloriques).

On peut certes se féliciter de l'extension constante de la culture du manioc dans la mesure où elle aboutit à atténuer les disettes, mais on doit constater qu'elle a eu pour effet la multiplication des maladies de carence. Ce tubercule est peu exigeant quant au sol. Toutefois, les argiles lourdes, notamment les

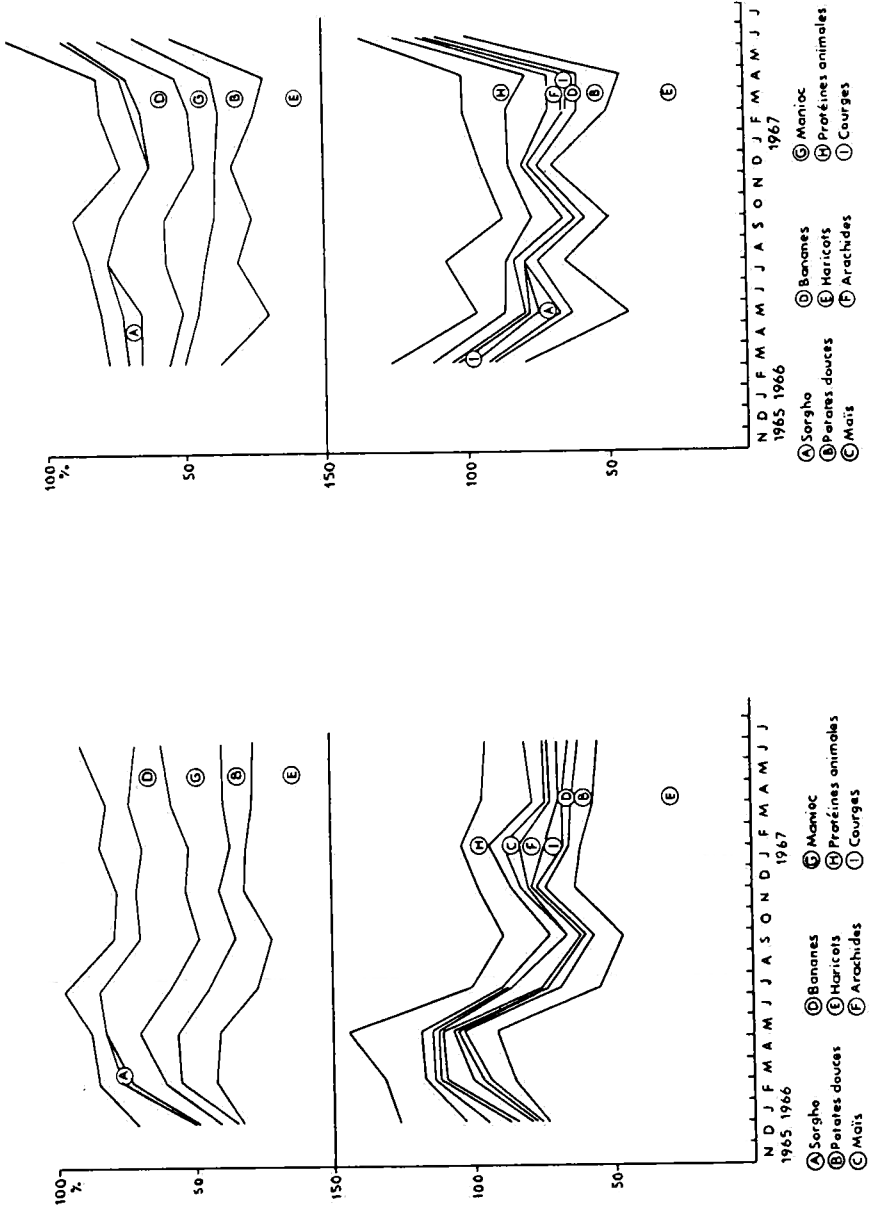


FIG. 1.2.a. — Tshugi (1d)wi).

FIG. 1.2.b. — Mpene (1d)wi).

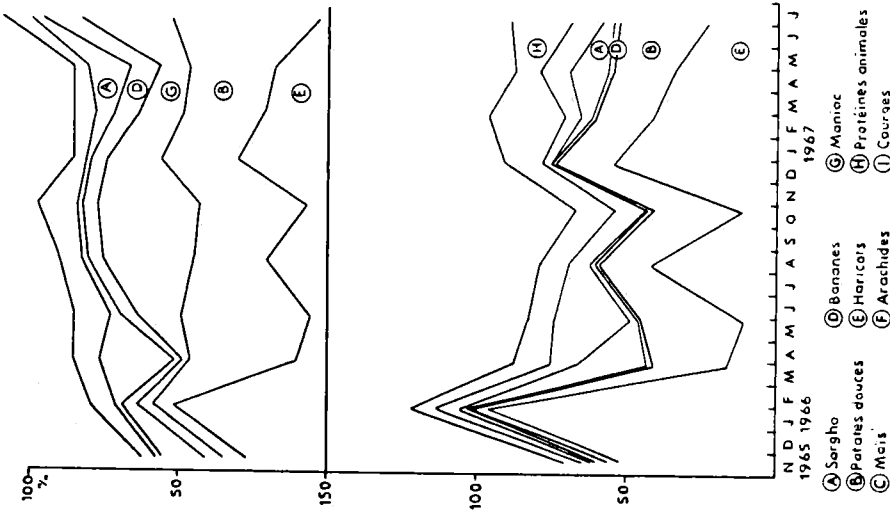


Fig. 1.2.a, b, c.  
Les graphiques schématisent les apports énergétiques (partie supérieure) et les apports protéiques (ramenés à la protéine de référence). Les apports sont représentés en pourcentage des besoins théoriques tels que définis par la FAO (1957), pour les k/calories et par le Comité Mixte FAO-OMS (1965) pour les protéines. Il n'a pas été tenu compte des effets de complémentarité des protéines (notamment le sorgho et les haricots), si bien qu'à certaines époques de l'année les apports ont été sous-estimés.

Sur tous les tracés, il est net que les apports énergétiques ne présentent pas les grandes fluctuations que l'on peut observer pour les apports protéiques. Ceci tient du fait que le manioc, pauvre en protéines, permet de passer la période de soudure, sans trop d'ennuis au point de vue calorique. Le manioc a été introduit par l'administration il y a plusieurs décennies déjà. Cet aliment n'a pas permis, d'un autre côté, de résoudre le problème protéique. L'espace blanc visible sur tous les graphiques concerne les aliments présents en trop petites quantités que pour être valablement reproduits. Pourtant le losange important qui se trouve sur le graphique de Kabare est dû, presque exclusivement à un seul aliment: les feuilles de manioc, consommées avant la récolte des tubercules. Les feuilles de manioc sont riches en protéines de bonne qualité. Il y a donc également un effet de supplémentation avec les haricots, si bien que la grande dépression, la soudure de l'apport protéique, se limite à deux ou trois mois de l'année à Kabare. Ce phénomène ne se retrouve pas dans les deux autres régions (Mpene et Tshugi).

FIG. 1.2.c. — Kabare.



argiles basaltiques ne lui sont pas favorables. Il a donné, en bonnes conditions, des rendements considérables mais sa farine est particulièrement pauvre en protéines, matières grasses et éléments minéraux.

Pour résoudre ce nouveau problème, on tente actuellement, non sans difficultés, d'introduire le soja, plus riche en lipides et en acides aminés que le manioc et le haricot, mais aussi exposé que ce dernier aux aléas climatiques. Des réserves sont à faire également quant à l'adaptabilité des variétés de soja aux conditions physiques de la Région. De plus, outre la difficulté de changer les habitudes alimentaires en remplaçant les haricots, nourriture appréciée entre toutes, par le soja, on relève le danger de voir le soja remplacer le manioc dans le système cultural, ce qui se traduirait indéniablement par un gain de protéines mais aussi par un important déficit en calories.

D'autres projets visent à accroître la production de protéines d'origine animale, soit par exemple en étendant les pêcheries du lac Tanganyika ou en développant les élevages de bétail. Or ces derniers, vu la surcharge des terres dans la région atteinte par la malnutrition, ne pourraient être développés qu'en dehors de celle-ci. Ces projets se heurtent dès lors à la faiblesse du revenu monétaire des cultivateurs, lequel ne leur permettrait pas d'acquérir des produits fournis par les régions voisines. Certaines tentatives plus axées sur l'agriculture et la conservation des sols, mais indirectement tournées vers la solution du problème nutritionnel n'ont que des débuts de réalisation. Elles sont mentionnées sub.I.8 ci-après.

### **I.8. Amélioration de l'agriculture coutumière**

Les premières interventions du régime colonial en vue de développer la production rurale furent l'imposition de récolter et de vendre des quantités déterminées de produits de cueillette destinés au traitement industriel (caoutchouc de forêt et de savane, amandes palmistes, huile de palme, fibres végétales, etc.). Ces produits n'existant guère dans la région sous examen, ces mesures n'y exercèrent aucune influence.

Par après, et notamment à partir de 1930, l'imposition — comme mentionné au chapitre précédent — fut étendue à la plantation de superficies déterminées de certaines cultures spécifiées par les arrêtés d'application pour chaque région. Il s'agissait soit de cultures industrielles (coton, palmiers, hévéa, caféier, etc.) soit de cultures vivrières (manioc, bananier à farine, maïs), tout particulièrement dans les zones dévolues à la production des vivres requis pour le ravitaillement des grandes entreprises minières et des cités.

Dans les montagnes du Kivu, les besoins des centres restaient faibles et les entreprises minières peu développées (à l'exception de M.G.L.-Nord à Butembo), par contre, tout un passé de disettes et de famines justifiait une action puissante en vue d'une amélioration de la situation nutritionnelle des populations. La politique des cultures imposées « d'ordre éducatif » s'y est principalement orientée, comme dit ci-avant, vers le développement de productions vivrières destinées à la consommation dans le milieu paysan lui-même. Elle réalisait donc moins qu'ailleurs le développement de l'économie de

marché et la création de ressources monétaires au niveau de la famille paysanne.

Qui plus est, l'Administration avait de longue date été alertée par ses services techniques quant à la gravité des phénomènes de déforestation et d'érosion. Le bois étant le seul combustible du paysan, le reboisement fut rangé au nombre des travaux imposés. Par ailleurs, pour prévenir la dégradation des terres en pente, l'interplantation de haies anti-érosives dans les cultures fut imposée, longtemps déjà avant l'indépendance.

Diverses autres mesures techniques furent appliquées en dehors du cadre particulier des cultures imposées à titre éducatif, leur coût étant supporté par les finances publiques: grands reboisements, drainage rationnel des grands marais avec contrôle du plan d'eau en saison sèche, essais locaux et diffusion de nouvelles cultures et de variétés améliorées, propagande agricole générale en vue de la diffusion de meilleures techniques culturales (dates et densités des semis, utilisation des fumiers et composts, etc.).

On ne peut manquer de relever que le Kivu montagnoux se prêtait à diverses cultures industrielles telles que le café arabica, thé, quinquina et pyrèthre. Le système des impositions à titre éducatif eût pu être mis à profit pour les introduire en milieu paysan autochtone, y développer des ressources monétaires et un pouvoir d'achat et, de ce fait, une plus grande possibilité d'acquérir des produits alimentaires venus de l'extérieur.

A l'opposé de ce qui se fit au Rwanda, la politique au Kivu montagnoux s'est plutôt orientée, pour le développement de ces productions, vers la constitution d'entreprises allochtones de plantation. A ces entreprises furent concédées des superficies considérables de terres de bonne fertilité réputées vacantes au moment de leur concession mais qui, en fait, ne l'eussent pas été à long terme considérant la croissance démographique. Ces plantations, bien entendu, ont contribué à l'essor économique de la région par des productions assez substantielles et ont amorcé, par le salariat, un certain développement de l'économie d'échange.

Le développement de ces entreprises, techniquement très supérieures au système cultural autochtone, n'a malheureusement exercé aucun effet d'entraînement sur celui-ci et aucune partie des bénéfices dégagés n'a été réinvestie dans l'amélioration de l'agriculture coutumière.

Il est important de constater que tous les efforts faits, notamment dans le cadre des cultures imposées, n'ont guère modifié le système agricole traditionnel dans ses techniques et ses structures ni altéré grandement le caractère de subsistance de l'économie rurale (PEEMANS 1975). En fait, au Kivu, on voyait souvent la culture imposée pratiquée en dehors de l'assolement traditionnel, sous la désignation de « champs de l'État », sur de nouveaux défrichements de pâturage. Ceci avait pour effet d'ouvrir à l'érosion de nouvelles terres et de réduire d'autant la subsistance du bétail.

Quant au développement du salariat agricole, il n'a pas eu pour effet de constituer une classe ouvrière dégagée du milieu rural traditionnel. L'ouvrier agricole, et même souvent le salarié urbain, conservaient au village leur « rugo » et leurs cultures. Avec la mise en route du Plan décennal, en 1950, l'Adminis-

tration a voulu, selon ses propres termes, améliorer la production agricole indigène en remplaçant la contrainte par un système éducatif « plus souple et plus populaire ». Les instruments de cette politique étaient les paysannats et les coopératives.

Les paysannats sont des organisations de développement rural qui groupent les cultivateurs sur des lotissements assurant soit à chaque famille (dans le cas de lotissements individuels) soit à chaque clan ou village (dans le cas de lotissements collectifs ou indivis) la superficie nécessaire de terres de bonne qualité pour l'application d'un assolement rationnel.

Un des objectifs est aussi d'ordonner les cultures du groupe en un dispositif géométrique dans lequel les soles annuelles de tous les cultivateurs s'organisent en bandes continues. Ceci facilite le contrôle de l'application des prescriptions techniques données par l'encadrement et permet éventuellement l'usage collectif de machines de culture ainsi que les traitements phytosanitaires.

Les paysans sont libres d'adhérer au projet. Une fois installés sur leurs terres, ils reçoivent une aide éducative et technique étroite de la part des services agricoles d'encadrement. Ceux-ci fournissent les semences sélectionnées, les pesticides, les engrais, etc. Une garantie d'achat des récoltes est accordée aux paysans. Des organismes appropriés sont constitués pour la commercialisation. Le choix des cultures est fonction de la vocation technique et économique de chaque région.

L'idée première était de rationaliser l'agriculture nomade telle qu'elle était pratiquée dans les grandes régions agricoles du Zaïre pour la culture des plantes annuelles. Selon les régions, on crée des paysannats cotonniers, des paysannats vivriers, etc. basés sur des principes fonciers variables (lotissements individuels ou lotissements indivis) mais impliquant toujours l'implantation sur le terrain d'un parcellaire rigoureux dans lequel tous les paysans alignent en bandes continues les parcelles successives de l'assolement et de la jachère (TONDEUR 1955).

Il est bien évident que l'établissement de semblables lotissements est aisé lorsque l'on dispose de vastes étendues à relief atténué, pédologiquement uniformes et vacantes. Il se complique considérablement si le relief s'accroît, si la diversité pédologique s'accroît et si le terrain est grevé d'occupations foncières (cultures, villages, ...) ou entrecoupé de marais ou enclaves diverses.

Le succès des grands paysannats cotonniers a entraîné une extension de la méthode aux cultures pérennes (café, hévéa, élæis, thé, etc.). Cette extension s'est faite sous deux formes, l'une basée sur l'adjonction d'une parcelle « pérenne » à chacune des fermettes du paysannat individuel, l'autre regroupant toutes les parcelles individuelles de la culture pérenne préconisée en blocs uniformes établis sur des terrains choisis en conséquence en dehors de l'assolement. On remarquera que, sous cette dernière forme, la culture pérenne est introduite dans le milieu paysan sans rien changer au système agricole traditionnel.

A l'opposé des cultures imposées (« champ de l'État ») qui se développaient à côté de l'agriculture coutumière, les paysannats, sauf le cas particulier ci-dessus, ont pour effet de substituer un système agricole nouveau au système

coutumier. Nous avons vu que les paysannats proprement dits (c'est-à-dire les seuls qui ont un impact profond sur l'agriculture coutumière) deviennent de plus en plus malaisés à réaliser à mesure que s'accroissent le relief, la diversité pédologique et l'occupation foncière. Or, le Kivu montagneux présente à l'extrême ces conditions défavorables avec trois obstacles additionnels: l'existence de cultures pérennes coutumières (les bananeraies); un développement très perceptible de la propriété foncière individuelle (45% de «possédants» parmi les paysans du Bushi riverain) et l'existence de droits de pacage sur toutes les terres vacantes.

Le paysannat, dans l'acception usuelle du terme, n'y eût été applicable qu'au prix d'opérations dont la complexité eut approché celle des remboursements fonciers entrepris en certaines zones rurales d'Europe. N'étaient donc réalisables, sauf exceptions, que des paysannats limités à la culture pérenne hors assolement ou des formes d'organisation rurale particulières telles que le paysannat indivis, système Ruzizi, mis en application expérimentale dans quelques terroirs surpeuplés (200 à 500 hab./km<sup>2</sup>) du Kivu montagneux par la Mission Anti-érosive (TONDEUR 1955). Rien d'étonnant donc à ce que le Kivu montagneux n'ait possédé en 1960 que 9 paysannats groupant 1650 familles (environ 8000 personnes). Ce lent développement est à comparer avec l'évolution des paysannats cotonniers et autres qui intéressaient plusieurs centaines de milliers de personnes. Dans le Haut-Zaïre, par exemple, 20 paysannats de ce type comptaient 75 400 paysans.

Des coopératives de divers types — achat, vente et services — sont souvent annexées aux paysannats. Elles ont contribué à intégrer l'économie coutumière dans les circuits commerciaux pour des produits comme le thé, le café, les légumes, les poissons. Une quinzaine de coopératives fonctionnaient au Kivu en 1960.

Sans porter de jugement sur ces diverses tentatives faites en vue d'améliorer l'agriculture coutumière du Kivu montagneux, on notera que les actions réalisées sont restées sans commune mesure avec les dimensions du problème nutritionnel dont l'ampleur et l'urgence semblent toujours avoir été sous-estimées. Après l'indépendance, avec l'abolition des impositions de cultures, l'effondrement de l'encadrement agricole, la détérioration des circuits commerciaux et des transports, l'amenuisement des budgets consacrés à l'agriculture, l'abandon de la majorité des plantations allochtones, l'absence de contrôle des prix et la détérioration du rapport entre les prix payés aux paysans et les prix demandés pour les biens manufacturés ou importés, tous les programmes d'amélioration de l'agriculture ont été mis en veilleuse. La production agricole commercialisée du Kivu ne représente plus guère que 8% de la production globale totale dont les 3/4 en produits alimentaires. L'agriculture paysanne est donc, à 92%, de l'autosubsistance. Les ressources monétaires provenant du salariat se sont également amenuisées suite à la fermeture des exploitations.

Les travaux anti-érosifs, déjà impopulaires du fait qu'ils ne se traduisaient pas en résultats concrets perceptibles à court terme n'ont pas été poursuivis et les réalisations anciennes ont souvent disparu faute d'entretien.

Il ne reste en fait comme résultat concret important de tous ces efforts pour l'amélioration de l'agriculture coutumière du Kivu montagnoux que l'introduction du manioc dans l'assolement. Ce résultat est très positif pour la prévention des disettes, mais nous avons vu qu'il l'est beaucoup moins eu égard à la malnutrition. De plus, il ne contribue guère à la création de ressources monétaires. Le pouvoir d'achat extrêmement faible du paysan ne lui permet pas d'acheter des vivres dans le commerce. *A fortiori* lui serait-il impossible d'acheter des produits pour la fertilisation des terres ou la lutte contre les prédateurs de cultures. Déjà avant l'indépendance, l'emploi de tels produits dans la Région s'avérait économiquement impossible au niveau de l'exploitation familiale. Il s'agissait, en effet, au Kivu montagnoux de récoltes vivrières, très faiblement commercialisées, et dont la majoration quantitative par la fertilisation chimique n'engendrait pas les ressources monétaires permettant au paysan d'en supporter le coût. Seules les cultures riches destinées à la vente justifiaient ces techniques onéreuses (café, coton, etc.). De ce qui précède, on peut conclure que l'agriculture coutumière est restée, en 1975, très semblable à ce qu'elle était en 1922. Entre-temps, pour l'ensemble du Kivu, la population humaine est passée de 729 000 à quelque 2 800 000 personnes et le cheptel bovin de 113 000 à 163 000 bêtes. Il en est résulté une surexploitation des terres de culture et de pâture ainsi que des rares formations forestières encore existantes et même des reboisements. L'effet ne peut être qu'une accélération des phénomènes d'érosion et de stérilisation et une aggravation rapide du déficit de production alimentaire, ce que la présente étude va s'efforcer de traduire en chiffres concrets. Le bilan de l'amélioration de l'agriculture est donc très peu satisfaisant. Ses méthodes sont à repenser entièrement.

### 1.9 Les aspects économiques

Sur le plan de l'économie générale, les statistiques ne permettent pas d'individualiser, dans les comptes de la Nation, la contribution du Kivu montagnoux au Produit Intérieur Brut (P.I.B.) et au Revenu national du Zaïre. Considérant la situation à la veille de l'indépendance, on peut, à cette époque, qualifier cette contribution de modeste et lui reconnaître les caractères évidents du sous-développement économique et, notamment, la prédominance du secteur primaire (produits bruts agricoles et miniers), la carence quasi complète du secteur secondaire (industries de transformation, manufactures, etc.) avec un secteur tertiaire (service, transports, commerce et administration) assez développé où prédomine nettement le sous-secteur de l'administration.

Les productions primaires de la Région comportaient une production minière relativement réduite (cassitérite et or) et une production agricole dont la provenance était double: d'une part, la production paysanne, d'autre part, la production des entreprises de plantations (colons individuels et sociétés).

La production paysanne se limitait quasi exclusivement aux produits vivriers coutumiers, de faible valeur unitaire, dont la plus grande partie servait à l'auto-consommation. Les produits destinés à l'exportation n'y occupaient

qu'une place très modeste à côté de ceux provenant des plantations. Le secteur secondaire ne comportait aucune grande industrie de transformation et se limitait à quelques manufactures: brasseries, savonneries, extraction de quinine et de pyréthrine, usines à thé et conditionnement du café; à l'exception d'une sucrerie de 10 000 t de capacité (située d'ailleurs en dehors de la région sous examen). Quant au secteur tertiaire, mise à part l'administration, il ne pouvait comporter que des activités réduites puisque nécessairement liées au volume modeste de la production commercialisée (c'est-à-dire produits miniers et produits agricoles d'exportation provenant essentiellement des plantations allochtones) et aux ressources monétaires provenant de l'emploi. Ce dernier était numériquement assez développé mais consistait essentiellement en main-d'œuvre agricole non spécialisée (60 000 travailleurs agricoles pour la province du Kivu en 1959 soit 10% des hommes adultes). Les emplois mieux rémunérés: ouvriers spécialisés, employés et travailleurs des industries, etc. ne constituaient qu'à peine 10% de l'emploi.

On peut donc affirmer que, déjà à la veille de l'indépendance, le Kivu montagneux présentait, comparé à la plupart des autres régions du Zaïre un retard de développement très sensible eu égard à sa contribution par habitant au P.I.B. et au revenu national. L'essentiel de la contribution au P.I.B. provenait des entreprises allochtones agricoles et minières. La contribution de la population autochtone était fort réduite et consistait pour la majeure partie en auto-consommation.

Sous l'angle du revenu et plus particulièrement du revenu monétaire, on ne pouvait manquer de relever un large écart entre le revenu moyen par habitant du Kivu montagneux et celui des autres régions. De plus, à l'intérieur même de la région, une tension extrême s'était établie entre, d'une part, le revenu monétaire dérisoire du cultivateur et le revenu à peine supérieur du salarié agricole et, d'autre part, les revenus des classes sociales privilégiées.

L'évolution de cette situation après l'indépendance s'est faite dans le sens d'une aggravation de ces déséquilibres socio-économiques. En effet, les mines ont cessé leurs activités; la plupart des plantations ont été abandonnées soit reprises par des nationaux dans des conditions qui n'ont pu empêcher le déclin de leurs productions.

La main-d'œuvre agricole, dès 1973, était ramenée à 25 000 unités<sup>(1)</sup>, c'est-à-dire que les éléments essentiels de la contribution du Kivu au P.I.B. du Zaïre ont disparu et que, en outre, les revenus du salariat accusent un déclin sensible.

Le revenu par tête d'habitant et par an était estimé en 1969, dans le milieu rural du Kivu montagneux, à 40 U.S. dollars dont 25% sous forme monétaire (Vis *et al.* 1969). Il est hors de doute que — à coûts constants — il doit avoir accusé un déclin très sensible sans que se soit atténuée la tension entre le revenu de la classe rurale ouvrière et celui des classes privilégiées. Le revenu moyen *per capita*, déjà fort modeste comparé à celui d'autres régions d'Afrique,

---

(<sup>1</sup>) Source: Rapport économique de la Province du Kivu, 1973.

cache en effet l'extrême inégalité dans la répartition de ce revenu. Les ressources monétaires du paysan reposent essentiellement sur la partie commercialisée de la bière de banane, des produits de l'élevage et des récoltes vivrières. La bière de banane ne supportant ni la conservation ni le transport n'est vendue avec profit que sur les marchés voisins des lieux où se redistribuent certaines ressources monétaires (centres urbains et administratifs, salariat). Les produits de l'élevage sont en déclin accentué (cf. chap. I.6). Quant aux récoltes vivrières, les surplus sont, selon les saisons, nuls ou très réduits. De plus, les prix payés au producteur sont hors de proportion avec les prix au consommateur dans les centres urbains. Le rapport économique du Zaïre pour 1970 signale à ce propos les rapports suivants: 1 à 6 pour le manioc, 1 à 15 pour les haricots, 1 à 40 pour les légumes. Quant aux classes privilégiées, elles se localisent dans les centres auxquels elles confèrent une activité économique factice qui apparaît plutôt comme une simple « redistribution » de la masse monétaire injectée dans la Région pour la rémunération des fonctionnaires.

La population urbanisée est caractérisée par l'absence d'une couche ouvrière (liée à l'absence de développements industriels) et par le maintien d'une liaison étroite avec le milieu rural. Elle ne représente guère plus de 5% de la population totale et se concentre en majeure partie sur Bukavu (avec 135 000 hab.). Le niveau du revenu en milieu urbain reste très faible (inférieur à 20 dollars par mois en 1971) pour 50% de la population urbaine. Il est, dans ce cas, consacré à concurrence de 60 à 70% aux dépenses alimentaires. Les revenus supérieurs à 20 \$ par mois ne seraient dès lors accessibles qu'à 2,5% de la population totale<sup>(2)</sup>.

La population de Bukavu, seule concentration urbaine importante, accuse, pour la décennie écoulée, un taux de croissance de 80% dû pour moitié à l'exode rural. Si cette croissance devait se maintenir, le ravitaillement de la population citadine ne pourrait manquer de poser de graves difficultés considérant le repli du milieu rural sur une économie de subsistance, l'effondrement des circuits commerciaux et la détérioration des transports à l'intérieur de la Région.

La situation économique du Kivu montagneux est actuellement telle qu'il constitue une des régions les plus déshéritées du Zaïre. Non seulement, il n'apporte plus aucune contribution digne de mention à l'économie nationale mais semble plutôt constituer pour celle-ci une lourde charge. L'extrême pauvreté d'une large masse de la population constitue par ailleurs une source potentielle de troubles sociaux. Il ne peut y être remédié que par des actions massives à la base même du milieu rural. Une majoration de la situation économique globale de la province par implantation d'une enclave factice de développement (tourisme, par exemple) ne changerait rien à la condition rurale.

<sup>(2)</sup> Rapport sur l'enquête des budgets familiaux en milieu africain, ville de Bukavu, I.N.S., 1973.

Quelle sera l'évolution de ces graves déséquilibres socio-économiques? Comment pourraient-ils être corrigés et dans quels délais? Les simulations mathématiques présentées dans la deuxième partie de cette étude ne peuvent prétendre donner réponse précise à ces questions mais elles démontrent de manière irréfutable que — sauf modification profonde des structures — les interactions des composantes démographie, nutrition et dégradation des sols du problème posé conduisent inéluctablement à une aggravation rapide de la situation. Cela indique aussi l'urgence et le volume insoupçonné des interventions susceptibles de modifier le cours de cette évolution.

### 1.10 Synthèse

Les chapitres qui précèdent permettent de situer le problème de la malnutrition du Kivu montagneux dans son contexte écologique, démographique, agronomique et socio-économique.

Le trait essentiel du milieu est la présence de terres d'excellente qualité mais à forte sensibilité à l'érosion. D'une part, en effet, le climat tropical, passant à l'équatorial vers le Nord, se caractérise par des pluies saisonnières à forte intensité, succédant à des périodes sèches qui laissent le sol dénudé soit par les cultures saisonnières soit par le feu en brousse. Le relief, d'autre part, est très accentué. La proportion de terres en forte pente est telle que les 2/3 de la superficie ont une vocation herbagère ou forestière, le 1/3 restant nécessitant un dispositif anti-érosif efficace pour être soumis à la culture et encore la préférence devrait-elle être donnée, en de nombreux cas, à la culture pérenne.

La démographie, par ailleurs, se caractérise par une haute densité de population, particulièrement concentrée sur des sols volcaniques qui occupent quelque 20% de la Région, par un taux de croissance naturelle élevé (supérieur à 2,5%) et par un taux de naissance croissant reflété par la proportion grandissante d'enfants dans la population. Près de 2 millions d'habitants occupent les 34360 km<sup>2</sup> de la Région, soit une densité supérieure à 50 habitants/km<sup>2</sup>, avec des extrêmes de 112 à Kabare et 26 à Lubero (cf. tabl. 1, p. 38). Abstraction faite de la population urbaine, la densité en milieu rural s'établit à 53 habitants au km<sup>2</sup>.

Le contexte agronomique est celui d'une agriculture encore nettement extensive peu soucieuse tant du respect des vocations que des mesures élémentaires de conservation des sols. Le système agricole repose sur trois éléments essentiels mais faiblement intégrés: une culture pérenne, la bananeraie; un assolement de plantes vivrières saisonnières et un élevage bovin très extensif. Les seuls éléments d'intégration entre ces activités sont l'utilisation des défécations des animaux pour la fumure de la bananeraie et le pâturage des champs laissés en jachère. Un tel système ne peut être en équilibre que dans des conditions de faible densité démographique, à défaut de quoi les superficies restant disponibles pour le pâturage et la jachère sont insuffisantes pour assurer le maintien du cheptel et la conservation de la fertilité du sol.



L'économie de subsistance et le très faible niveau des ressources monétaires sont les traits dominants du niveau rural. L'urbanisation se limite à 5% de la population et encore, la population urbaine comprend-elle une proportion importante d'habitants à très faibles revenus et conservant un caractère semi-rural.

L'absence d'industries empêche la création d'une classe ouvrière détachée du milieu rural. L'emploi se réduit à un salariat agricole jadis important mais en forte régression (du fait de la fermeture de nombreuses plantations) et au secteur tertiaire. Ce dernier est peu développé et l'administration y occupe la plus grande place. Le secteur secondaire est quasi inexistant. Le secteur primaire qui avait connu un certain développement avant 1960 grâce aux produits des mines et des plantations est en net recul suite à la fermeture des premières et au déclin de la production des secondaires. Il repose en grande partie sur la production paysanne, laquelle est de faible valeur unitaire et consommée à concurrence de 92% par les producteurs. Le principal apport monétaire dans le milieu rural est celui du salariat du fait que la grande majorité des salariés, même travaillant dans les cités, conservent leur appartenance villageoise.

Cet apport monétaire se distribue au niveau du village par le commerce de la bière de banane et des surplus éventuels de production vivrière.

Un trait remarquable à la fois du contexte agronomique et du contexte socio-économique est leur caractère très accusé de stabilité.

En effet, la Région a été soumise à une colonisation prolongée; des efforts soutenus y ont été consacrés à l'amélioration de l'agriculture traditionnelle et une contrainte écologique de plus en plus lourde à mesure de la croissance démographique a pesé sur les populations. Et pourtant, on constate que les institutions sociales coutumières de même que le système agricole ancestral n'ont pas montré de tendance évolutive. Le développement économique relativement important avant 1960 (mines et plantations) avait conservé le caractère d'enclaves d'économie moderne et étrangère dans un contexte de sous-développement. Il semble, en effet, n'avoir exercé sur le milieu rural qu'un effet d'entraînement très réduit.

La situation actuelle de la Région, avec sa malnutrition et la menace constante de pénuries, de disettes saisonnières, si pas de famines, et son sous-développement caractérisé, est certes très préoccupante.

Cette situation toutefois n'est pas statique. On peut s'interroger sur son évolution probable au cours des prochaines décennies. La convergence des effets de la croissance démographique et de la dégradation du potentiel producteur des sols indique à suffisance la certitude d'une aggravation continue.

L'expérience montre qu'il ne pourrait y être porté remède que par un ensemble de mesures dépassant de loin en volume tout ce qui a été tenté pendant la période coloniale. Ces actions devraient aussi être conçues sur un plan beaucoup plus large englobant et intégrant tous les aspects techniques, sociaux et économiques.

Il était dès lors très important de chercher à fixer dans le temps les

diverses étapes de l'aggravation attendue car, de cette chronologie, dépendra le rythme des actions à entreprendre. Ces actions, en effet, doivent, au minimum, compenser par leurs résultats favorables, les pertes entraînées par les phénomènes de régression, à défaut de quoi elles n'auraient qu'un effet de retardement d'une issue par ailleurs inéluctable. Elles devraient même aller au-delà de la simple compensation si l'on veut que les populations du Kivu montagneux accèdent à une existence socio-économique meilleure. De telles actions relèvent évidemment du pouvoir politique. Par les simulations mathématiques exposées dans la deuxième partie de cette étude, nous avons tenté d'établir une chronologie de l'évolution de la situation du Kivu tenant compte des multiples interactions entre les nombreuses variables à considérer. Ces tentatives sont basées sur l'hypothèse de la non-évolution des structures et de la technologie du milieu rural. Les conclusions, avec quelques variantes correspondant aux différentes quantifications testées pour certaines variables, concourent à montrer la rapidité insoupçonnée de la régression à partir d'une certaine pression démographique. Elles indiquent de ce fait l'extrême urgence des actions à entreprendre et aussi leurs dimensions.

L'incidence de certaines politiques sur l'évolution de la situation décrite a été testée sur le modèle mathématique, mais il n'a pas été possible au stade actuel de l'étude de quantifier et de mettre sur ordinateur les multiples éléments du programme intégré qui pourrait peut-être renverser le sens de l'évolution.

Une étude préalable relativement importante serait, en effet, indispensable pour définir, coordonner et évaluer les multiples actions à mener de front. Il apparaît clairement, à la lumière de ce qui a été tenté auparavant, que des mesures partielles et ponctuelles sont sans effet durable. Le programme devra, en premier lieu, être étendu à l'ensemble du Kivu montagneux et des zones voisines. Celles-ci doivent lui être rattachées par des liens de complémentarité tant pour leur rôle d'accueil des populations excédentaires que pour leur fonction de production de produits alimentaires de base destinés aux zones surpeuplées elles-mêmes, lesquelles doivent être orientées vers la production intensive et la commercialisation de produits riches; elles disposeront de ce fait du pouvoir d'achat requis.

De plus, tant dans les zones de départ que dans les zones d'accueil des transferts de population, le programme devra intégrer très étroitement les mesures techniques, les mesures sociales et les mesures économiques.

Les mesures techniques porteront sur l'intensification de l'agriculture et de l'élevage étroitement intégrés, sur l'équipement rural, les transports, l'artisanat, etc.

Les mesures sociales mettront l'accent sur les actions de formation, d'encadrement et d'enseignement susceptibles de développer l'intérêt et la participation du milieu rural à l'égard des mesures techniques et autres, constituant le programme, y compris, si possible, les mesures, telles que l'espace des naissances qui pourrait contribuer à freiner la poussée démographique.

Les mesures économiques seront conçues, d'une part, pour organiser la commercialisation des produits en vue de la juste rémunération du producteur

et la fourniture aux meilleures conditions des biens de consommation et d'équipement et, d'autre part, pour provoquer la naissance, par le développement des industries et des services, d'un salariat évolué nettement détaché du milieu rural. Enfin ces mesures développeront l'économie d'échanges en créant simultanément, au niveau des masses rurales, un pouvoir d'achat et, au niveau des populations urbaine et salariée, un débouché pour les productions des premières.

On retiendra que ces mesures ne peuvent être efficaces qu'à partir d'un volume et d'une cadence de réalisations susceptibles de dépasser l'évolution régressive de la Région.

L'objet de l'étude n'était pas d'établir concrètement un tel programme mais de définir les causes des phénomènes de malnutrition, leurs perspectives d'évolution et la possibilité d'y remédier. Il apparaîtra, par exemple, à l'évidence que des demi-mesures telles l'introduction d'une culture nouvelle, manioc, maïs ou soja, ne sont que des palliatifs.

Enfin, on retiendra que le Kivu montagneux n'est qu'une partie de la grande zone interlacustre du centre africain où se retrouvent des situations très comparables. Les grandes lignes de la présente synthèse, au même titre que le modèle mathématique à laquelle elle sert d'introduction, peuvent donc s'appliquer *mutatis mutandis* à un secteur géographique très étendu peuplé de quelque 15 à 20 millions d'habitants.

## Deuxième partie

### Étude de l'évolution de la région par simulation mathématique

#### II.1. Les hypothèses de base

De ce qui précède, nous pouvons dégager l'importance fondamentale et l'interaction entre la croissance démographique et la production agricole menant à une lente dégradation des sols ou même de leur destruction.

Cette dialectique: croissance démographique — malnutrition — érosion nous paraît importante dans la mesure où la survie même des habitants du Kivu montagneux pourrait en dépendre et où il pourrait s'avérer possible d'éviter un désastre. Pour traduire cette dialectique en langage mathématique, nous faisons l'hypothèse que la population du Kivu ne changera fondamentalement, dans un avenir proche, ni ses techniques de production ni ses valeurs de haute fécondité.

Nous faisons également l'hypothèse qu'aucun événement externe tel que guerre, épidémie ou changement climatique ne se produira pendant la période sous examen. Bref, nous supposons que l'évolution du Kivu se poursuivra selon les mêmes lignes de force qu'actuellement.

Si le choix de nos hypothèses et de nos variables est explicite, il reste qu'on peut mettre en doute le fait de rendre compte de l'avenir d'une société en termes d'interactions entre les seules quantités considérées ici, à savoir la population, la nourriture, les terres disponibles et leur dégradation. Ne faudrait-il pas faire intervenir d'autres éléments? Ainsi, GODELIER (1966) rappelle que la «maximation de la production n'a pas de sens sans référence à la hiérarchie des besoins et des valeurs de la société».

On pourrait aussi faire observer que les contraintes du milieu sur la production se reflètent toujours dans un certain niveau des techniques et que, sous la contrainte écologique, des changements techniques peuvent se produire (RICHARD-MOLARD 1952, SAUTTER 1962, BROOKFIELD 1962, BOSERUP 1965). On pourrait penser également que les rapports sociaux actuels du Kivu vont se modifier et que des changements en découleront nécessairement au niveau de la production ou de la croissance démographique.

Remarquons d'abord que le niveau des techniques agricoles ne s'est guère modifié au Kivu depuis que la Région est ouverte aux influences extérieures et ce en dépit de tentatives multiples entreprises dans les 20 dernières années de la colonisation. Certes, sous l'effet de la pression démographique croissante,

des changements se sont produits mais pas dans le sens d'une adaptation des techniques en vue d'une moindre dépendance à l'égard des contraintes écologiques.

La réponse à la régression de la productivité des terres a été cherchée dans une augmentation de la superficie des champs et, par conséquent, dans un alourdissement du labeur féminin. Le système de production apparaît ainsi plus fragile qu'auparavant parce que plus proche de la limite d'élasticité du facteur travail.

Quant aux rapports sociaux, ils restent actuellement basés sur des relations de clientèle. Il est probable qu'ils subiront une certaine évolution, dans le sens peut-être du développement de la notion déjà existante de propriété foncière, entraînant la naissance ou l'accentuation des classes sociales de petits propriétaires, de paysans sans terre et d'ouvriers agricoles. De tels changements sont-ils susceptibles de modifier, dans un sens favorable, l'assujettissement aux contraintes écologiques? Ne vont-ils pas, au contraire, accélérer l'évolution en augmentant les déséquilibres?

Il n'est pas contestable que toute société connaît une certaine évolution au cours de son histoire. Nous pensons toutefois que cette évolution, en circonstances normales, est lente; l'histoire récente du Kivu le prouve. De plus — et plus particulièrement pour le Kivu — il est douteux que les changements qui pourraient en résulter puissent infléchir de façon appréciable l'adaptation aux contraintes du milieu pendant la période sur laquelle portent nos calculs. Par ailleurs, nous avons écarté, par hypothèse, les bouleversements profonds tels que guerre, etc. qui pourraient éventuellement déclencher des modifications plus rapides.

Notre but premier sera donc de montrer les conséquences probables, telles que nous pouvons les appréhender aujourd'hui, du maintien du système actuel dans lequel s'articulent milieu physique — population — techniques de production. Si ces conséquences sont néfastes, il faudra rechercher quelles sont les modifications, les alternatives, les politiques qui pourraient amener des perspectives moins sombres. Quelles qu'elles soient, elles impliqueront toujours de longs délais.

Le modèle de départ se limitera donc aux éléments essentiels de la situation actuelle. Sur ces hypothèses simples pourraient, dans un deuxième temps, se greffer des alternatives plus complexes telles que l'industrialisation, l'urbanisation, les complémentarités économiques, ainsi que la hiérarchie des besoins et des valeurs.

Le modèle cherche donc à réunir les principaux éléments du système considéré, à expliciter et à quantifier leurs relations, de façon à obtenir une vision plus claire de son évolution à long terme. En cas de doute sur les interactions ou sur les variables essentielles, on peut tester plusieurs hypothèses et envisager explicitement les conséquences qui en découlent.

Grâce à la simulation par ordinateur, on peut faire varier simultanément des groupes de variables comme cela se produit dans la réalité. Le recours à ces constructions mentales (« Gedanken Experimenten ») est rendu nécessaire par la complexité des interactions.

La structure détaillée du modèle étant présentée et discutée en annexe II, nous nous bornerons dans le chapitre ci-après à caractériser les interactions fondamentales entre les variables considérées.

## II.2. Les interactions fondamentales

Nous commencerons par décrire très schématiquement une société rurale caractérisée par l'économie de subsistance, et des techniques faibles et constantes, répartie sur un territoire limité, comportant des sols de bonne qualité mais dégradables.

Nous décrivons cette société en fonction du nombre d'habitants, du taux de croissance de la population, de la production par habitant (essentiellement la nourriture puisque économie rurale de subsistance), de la production annuelle par hectare cultivé, des besoins de subsistance et de la force de travail.

Les interactions entre ces variables sont présentées dans le diagramme causal ci-dessous (fig. II.1). Nous estimons que les interactions telles que présentées par ce schéma caractérisent bien cette société. Les flèches représentent les influences causales et le signe positif ou négatif qui les accompagne indique dans quel sens (identique ou opposé) se produisent les changements. Par exemple: si la population devient plus importante, les besoins minima pour sa subsistance sont plus importants pour autant que les autres variables restent

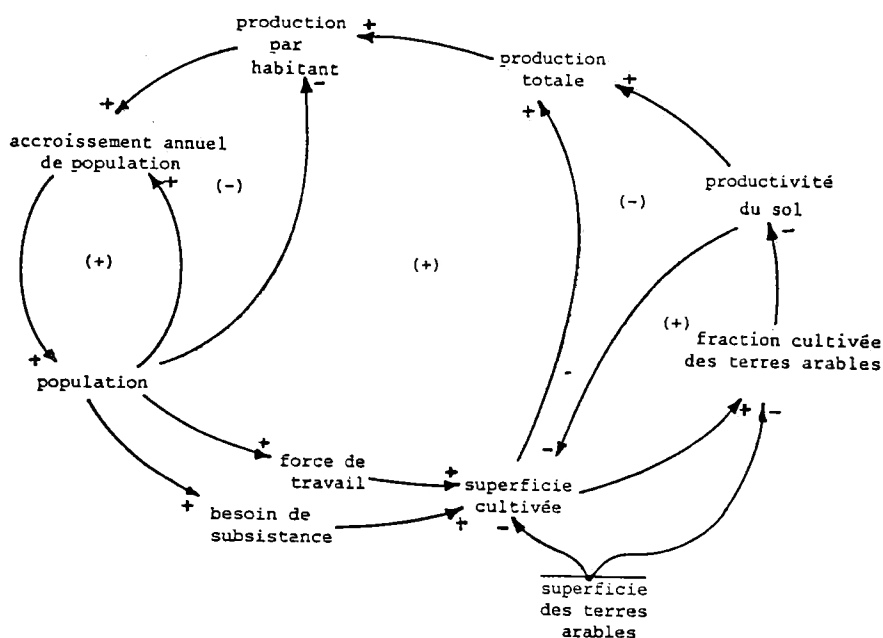


FIG. II.1. — Schéma général des interactions.

constantes; les changements, dans ce cas, vont dans le même sens. Par contre, si la population croît alors que la production totale reste constante, la production *per capita* diminuera. Dans ce cas également, la causalité est directe mais la variable finale change dans le sens opposé à celui de la variable initiale.

Les signes (+) et (-) au milieu des boucles de rétroaction indiquent le sens final des influences au sein d'une séquence fermée. Ces boucles de rétroaction jouent un rôle essentiel dans l'évolution dynamique des systèmes. Nous allons commenter chaque boucle séparément; une description quantitative et plus détaillée sera fournie en annexe II.

Examinons la première boucle, celle qui concerne le processus démographique. Elle apparaît en traits gras, à la figure II.2: pour un taux annuel de croissance de la population de  $x\%$  (qui peut être négatif), l'accroissement annuel est proportionnel à la population. En effet, le nombre de naissances et le nombre de décès, qui sont les mécanismes du changement, dépendent essentiellement du nombre de personnes. Par ailleurs, cet accroissement annuel s'ajoute à la population existante (ou éventuellement, s'en soustrait) et la renforce, ce qui explique la flèche positive. Ce processus «en boule de neige», où les effets se produisent dans le même sens est un exemple de «positive feedback» ou de rétroaction positive. Ces boucles, quand elles ne sont pas contrôlées par des boucles négatives, entraînent une croissance ou une décroissance exponentielle.

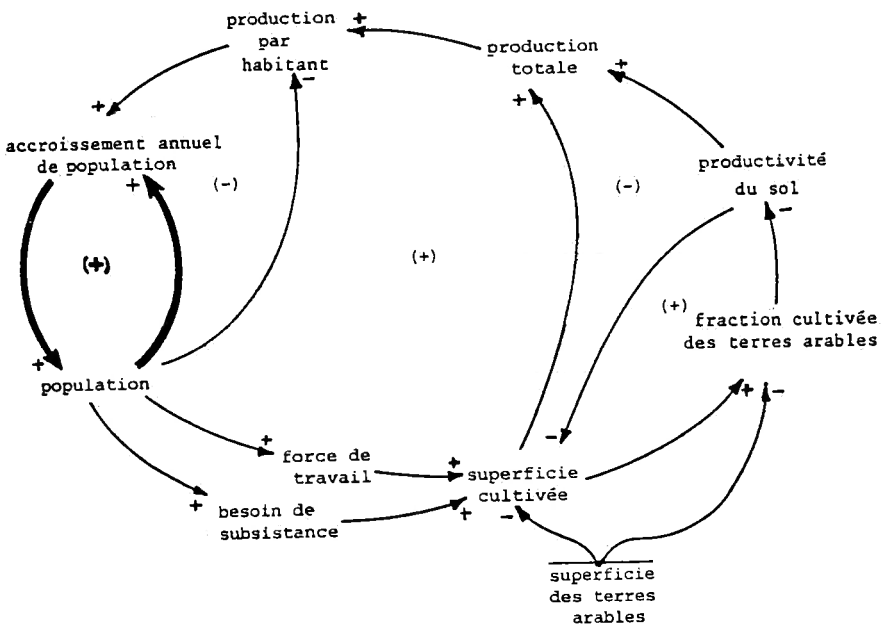


FIG. II.2. — Le processus démographique.

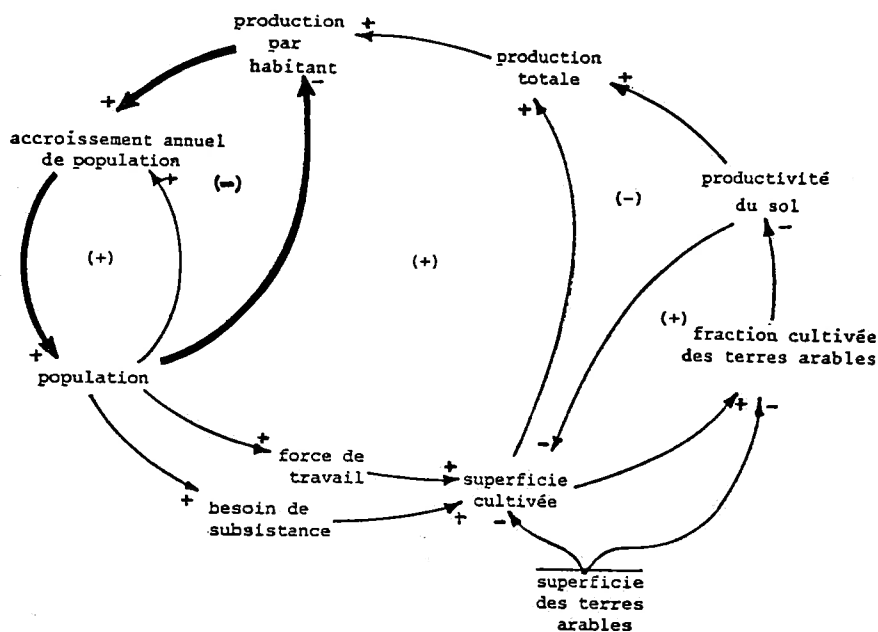


FIG. II.3. — Interactions entre population et production par habitant.

La deuxième boucle représente un aspect de l'interaction entre production et population (fig. II.3) dont la dynamique a pour effet d'ajuster la population à une valeur telle que la production par habitant entraîne un taux de croissance démographique égal à zéro. En effet, la production totale étant supposée constante, lorsque la population croît, la production par habitant décroît. Aussi longtemps que cette dernière reste élevée, l'accroissement annuel de la population reste positif et élevé et reste tel jusqu'au moment où la production par habitant diminue au point de réduire l'accroissement annuel de la population.

Si la production par habitant s'abaisse encore, la variation numérique annuelle de la population devient négative; la population décroît jusqu'au moment où la production par habitant augmente. Les deux mouvements tendent vers un équilibre qui est le taux de croissance nul.

Ceci est un exemple de boucle de rétroaction négative qui paraît tendre vers un but et se corriger d'elle-même pour tenter de l'atteindre.

La troisième boucle représente une interaction plus complète entre population et production (fig. II.4). Cette boucle s'explique comme suit: si l'accroissement annuel de la population est positif, la population croît, ce qui entraîne la croissance de ses besoins de subsistance et de sa force de travail.

Ceci entraîne l'accroissement de la superficie cultivée <sup>(1)</sup>, dans la mesure où il reste des terres disponibles. Si la productivité par ha est constante, la

(<sup>1</sup>) Nous ne considérons ici que la superficie consacrée aux cultures vivrières annuelles, à l'exclusion des bananeraies ou des cultures pérennes.



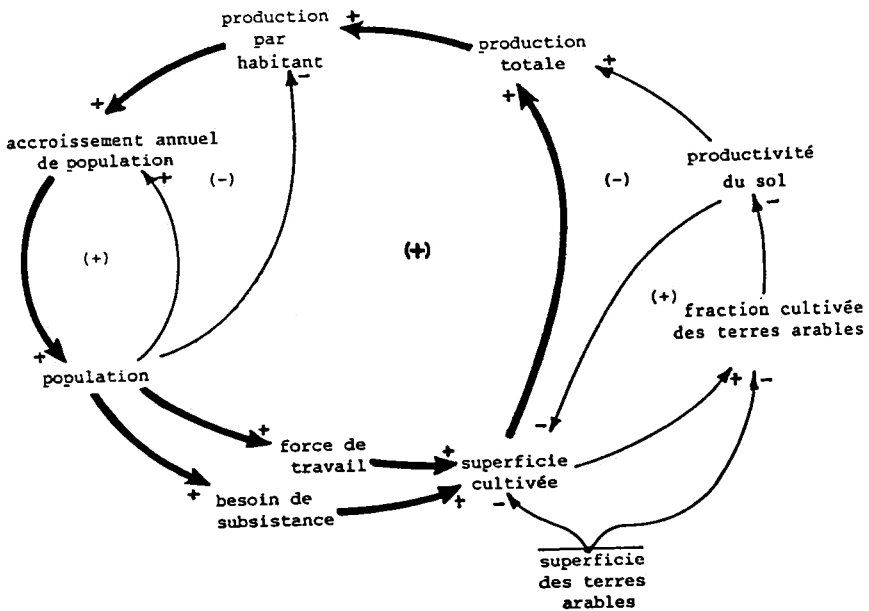


FIG. II.4. — Interactions détaillées entre population et production totale (faisant intervenir besoins, force de travail et superficie).

production totale croît en fonction de la superficie cultivée. Dès lors, si la superficie cultivée par habitant ne change pas, la production par habitant se maintient, le taux annuel de croissance de la population reste constant et l'accroissement annuel de la population continue à croître de manière exponentielle.

La première et la troisième boucles compensent l'effet de la seconde (négative). La quatrième boucle ajoute aux effets précédents l'effet négatif qu'entraîne l'augmentation de superficie cultivée sur la productivité du sol (fig. II.5).

Cette liaison négative superficie cultivée-productivité s'explique comme suit: la pression sur les terres arables disponibles, exprimée par la fraction cultivée de ces terres, s'accroît avec l'extension de la superficie totale cultivée. Lorsque cette pression, et partant cette fraction, croissent, la productivité par hectare diminue pour les raisons techniques ci-après. L'augmentation de la fraction cultivée des terres arables entraîne la diminution de la fraction non cultivée c'est-à-dire des jachères (nous considérons ici qu'il n'y a que des terres cultivées et des jachères). Il s'ensuit une moindre durée des jachères, une moindre reconstitution de la fertilité du sol et une aggravation de l'érosion, entraînant la perte de productivité du sol.

Ce processus conduit donc à un effet inverse du précédent: l'extension de la superficie cultivée n'entraîne pas une augmentation parallèle de la pro-

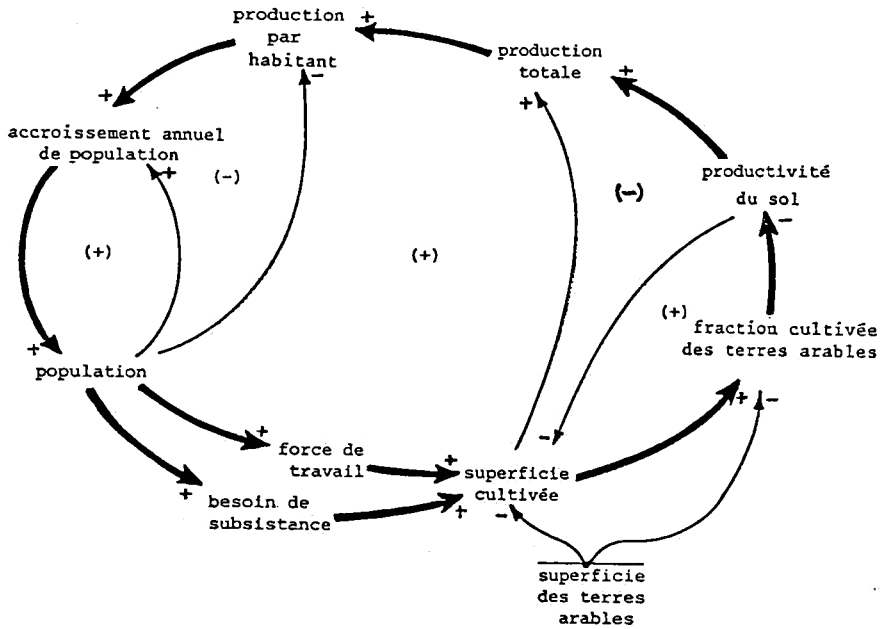


FIG. II.5. — Interactions détaillées entre population et production totale comportant la relation entre superficie et productivité.

duction puisqu'une partie de l'accroissement est perdue à cause de la baisse de productivité. Nous avons, en effet, pris comme hypothèse de départ l'invariabilité des techniques, ce qui exclut la possibilité d'une intensification des méthodes de culture palliant les effets de la réduction du temps de jachère. Dès lors, la production totale ne sera pas maximale quand la superficie cultivée sera maximale. Cet effet est encore accéléré par la dernière boucle présentée en fig. II.6.

La superficie totale cultivée ne dépend pas uniquement des besoins de subsistance, de la force de travail ou des superficies disponibles, elle est aussi fonction de la productivité du sol. Il est nécessaire de cultiver de plus grandes surfaces si la productivité par hectare est plus petite et si l'on veut maintenir la production totale. La flèche négative indique bien que la superficie cultivée varie en sens inverse de la productivité, cette boucle de rétroaction est positive; une plus grande superficie cultivée augmente la fraction cultivée des terres arables et diminue la productivité, ce qui se traduira par un nouvel accroissement des superficies cultivées.

Cet effet conduit à une lente saturation et peut être accéléré de façon dramatique par la dégradation des sols. Avec des jachères longues celle-ci est négligeable. Mais au moment où les jachères raccourcissent, la perte de productivité devient importante et entraîne la nécessité d'une compensation en termes d'extension de la surface cultivée. Cette extension est limitée par les

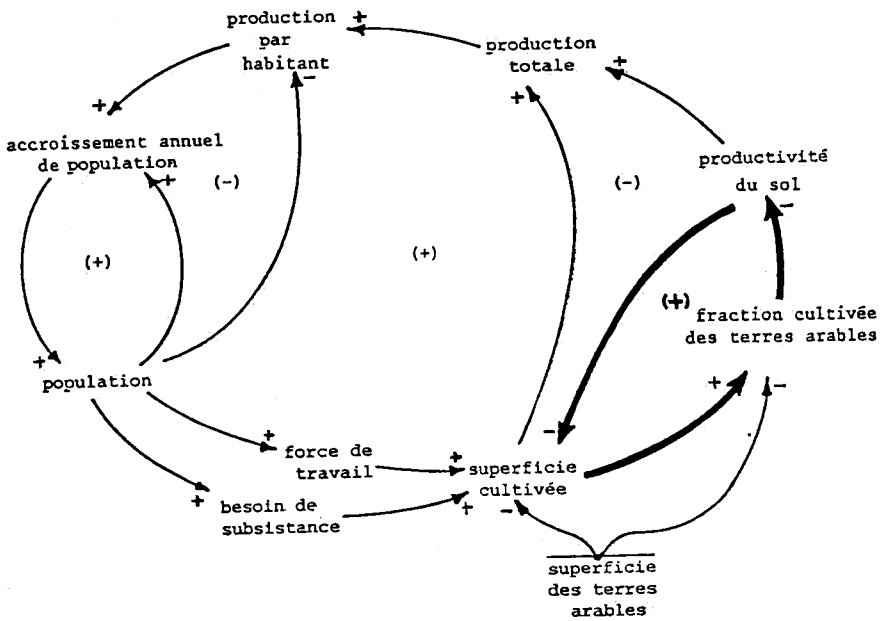


FIG. II.6. — Liaison productivité du sol-superficie cultivée.

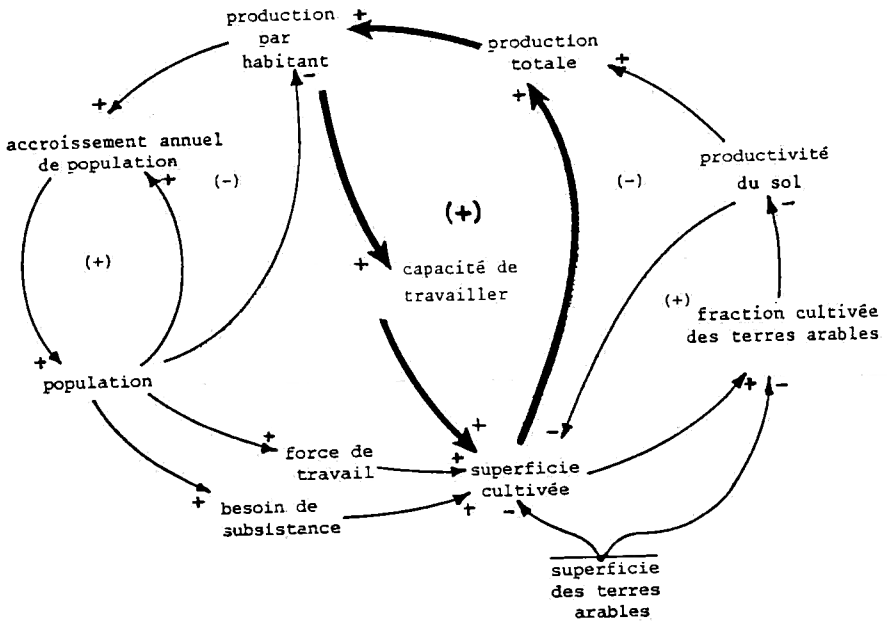


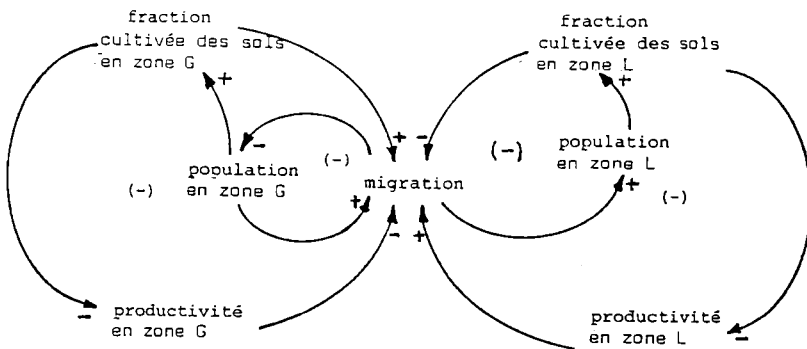
FIG. II.7. — Liaison superficie cultivée-capacité de travail et production.

surfaces réellement disponibles et par les limites physiques à la production en termes de force de travail (fig. II.7). Cette dernière figure illustre les limites physiques à la production exprimées ici en termes de superficie maximale par unité de production. Cette superficie peut augmenter ou diminuer lorsque l'apport nutritionnel par habitant diminue ou accroît la force de travail. L'augmentation est toutefois limitée par les superficies arables réellement disponibles.

Dans la description ci-dessus, nous n'avons considéré jusqu'à présent qu'une seule population et un seul niveau de fertilité, les sols de bonne qualité.

Or, nous avons distingué dans le Kivu de montagne deux zones, G et L, l'une caractérisée par des terres de meilleure qualité, plus densément peuplées et l'autre par des terres de qualité moyenne moins peuplées. Il peut être intéressant de suivre les interactions entre ces deux zones conduisant à la naissance d'un mouvement de migration de population de la première vers la seconde (fig. II.8).

Observons d'abord que la fraction cultivée dans la zone G est toujours plus haute que celle dans la zone L, puisque la population y est plus dense. Cette différence est le moteur même de la migration; nous pouvons donc exclure une migration des sols de la zone L vers la zone G. Dans la zone des sols de bonne qualité, la migration a pour effet d'arrêter la baisse de productivité. En effet, l'accroissement annuel de la population de cette zone diminue, donc la fraction cultivée des terres disponibles augmente moins rapidement. Cette rétroaction est négative. Mais l'émigration, stimulée, d'une part, par la dégradation des sols dans la zone de départ sera freinée, d'autre part, par la dégradation des sols dans la zone d'accueil. Dans celle-ci, l'immigration augmente l'accroissement annuel de la population et, en conséquence, la fraction cultivée des terres arables. La productivité baisse à son tour, ce qui réagit négativement sur l'immigration, devenue moins attractive.



Zone G : sols fertiles, densité élevée  
Zone L : sols moyens, densité modérée

FIG. II.8. — Interactions entre deux zones de densité démographique et de fertilité différentes

Deux formes différentes d'émigration ont été envisagées dans le modèle. La première est une migration de jeunes adultes à la recherche de terres moins densément peuplées ou tout simplement disponibles. La deuxième est une migration massive d'une partie de la population, en fuite devant les conséquences de la famine.

Le choix des paramètres est différent pour les 2 formes de migration du fait notamment que, dans la seconde, nous faisons intervenir l'apport nutritionnel par habitant, mais les mécanismes de la migration et de la productivité restent les mêmes.

Pour l'analyse détaillée des interactions fondamentales décrites ci-avant, nous renvoyons à l'annexe II qui donne la description complète du modèle.

### II.3. Les simulations

#### II.3.1. Notes introductives

Les interactions fondamentales exposées sub. II.2 indiquent les grandes lignes du modèle. Par ailleurs, les hypothèses de base formulées sub. II.1 en limitent l'aire d'application. Le tout a permis de créer un modèle conceptuel représentant les divers mécanismes qui, selon nous et selon les données dont nous disposons, peuvent jouer un rôle majeur dans l'aggravation ou dans l'allègement de la malnutrition dans la région du Kivu. Un tel modèle qualitatif aide déjà à comprendre les interactions et les conséquences des divers mécanismes tant démographiques qu'agronomiques.

La complexité des problèmes étudiés est telle cependant que nous pourrions éprouver des difficultés à établir correctement les effets différés et parfois antagonistes résultant des divers processus agissant simultanément. Aussi, pour améliorer les déductions mentales, avons-nous, dans toute la mesure du possible, quantifié les interactions afin d'obtenir un modèle quantitatif qu'il soit possible d'utiliser pour diverses simulations. De cette manière l'ordinateur calcule les effets cumulatifs des divers processus simultanés et dégage certaines variables qui lui sont spécifiées. Il donne ainsi une image graphique du comportement dans le temps des quantités principales. En faisant varier les hypothèses chiffrées pour les diverses variables, on peut étudier une grande variété de « scénarios ».

Il faut se garder d'assimiler de tels scénarios, produits par le modèle, avec la réalité. Dans le modèle sont réunies un grand nombre d'hypothèses sur ce qui est susceptible d'arriver dans des circonstances données. Sur cette base, l'ordinateur calcule, de manière effective, quelles seraient les conséquences à long terme si les hypothèses se vérifiaient. Autrement dit, les scénarios ne sont pas des prédictions mais plutôt des représentations conditionnelles du type si...; quand... Bien sûr, nous nous sommes efforcés de faire des hypothèses réalistes afin que les simulations puissent nous donner une indication valable sur ce qui pourrait effectivement arriver.

Dans le présent chapitre seront exposées certaines des simulations réalisées avec le modèle décrit. Elles concernent uniquement le Kivu. Dans le chapitre II.5, nous tentons de représenter les perspectives de la situation du Rwanda par application du même modèle en y introduisant les paramètres propres au Rwanda. Chaque fois qu'une grande imprécision a été rencontrée pour la quantification d'une variable, nous avons adopté une valeur moyenne. Nous avons recherché, d'autre part, quels résultats seraient obtenus en utilisant d'autres valeurs; il apparaît que l'image générale ne change guère et que nos conclusions se vérifient dans le large éventail des valeurs différentes, bien que plausibles, que nous pouvons attribuer aux paramètres. Ceci découle du fait que, dans le système étudié, la structure des interactions est plus déterminante que les valeurs précises attribuées aux paramètres.

Chaque simulation est représentée ci-après par 3 ou 4 figures dont:

- La première montre le comportement de l'apport nutritionnel *per capita* (FPC) et la population (P);
- La seconde couvre les développements liés aux taux de natalité et de mortalité (BR et DR) ainsi que, à nouveau, à l'apport nutritionnel *per capita* (FPC);
- La troisième représente l'évolution des principales variables agronomiques:
  - FACA: fraction cultivée des terres arables disponibles;
  - RPA: productivité rémanente des terres exprimée en fraction de la productivité initiale (en 1920);
- La quatrième, parfois omise, montre l'évolution de quelques autres variables agronomiques:
  - MACA: surface maximum compatible avec la force de travail;
  - FAA: surface disponible pour les cultures annuelles;
  - FPSA: surface dont la culture est nécessaire, dans l'appréciation du paysan, pour couvrir ses besoins.

Aussi souvent que nécessaire, les acronymes ont été complétés par G ou L pour indiquer que les quantités correspondantes concernent ce que nous avons appelé respectivement la zone fertile (G) et la zone moins fertile (L).

Dans toutes les figures illustrant les simulations, les temps se lisent de gauche à droite, de l'année 1920 prise comme année de référence à l'année 2040), au-delà de laquelle les calculs ont été arrêtés. Toutes les autres variables se lisent de bas en haut suivant des échelles appropriées.

Les échelles pour FPC (apport nutritionnel *per capita*), FACA (fraction cultivée des terres arables disponibles) et RPA (productivité rémanente) vont de 0 en bas à 1 à droite en haut. Les taux de naissance et de décès (BR et DR) vont de 0 à 100%; les différentes surfaces (MACA, FAA et FPSA) s'expriment en fractions de la surface totale des terres arables, l'échelle allant de 0 à 2 (ceci pour tenir compte du fait, par exemple, que la force de travail pourrait être telle que l'on pourrait cultiver plus que la surface disponible, auquel cas MACA aurait valeur supérieure à 1); les populations, enfin, sont mesurées sur une

échelle allant de bas en haut de 0 à 10 000 000. Enfin, les échelles pour la quantification de l'émigration vont de 0 à 100% pour l'émigration des jeunes adultes et de 0 à 10% pour l'émigration « de famine » portant sur des groupes familiaux entiers. Les spécifications détaillées de chaque simulation sont données en annexe IV.

### II.3.2. Simulation n° 1

Cette simulation montre quelle serait l'évolution si l'on ne faisait pas la distinction entre les deux zones G et L caractérisées, l'une par des terres fertiles et l'autre par des terres moins fertiles et plus particulièrement si l'on supposait la population uniformément répartie sur l'ensemble de la Région.

La figure II.9.1 concerne l'évolution de l'apport nutritionnel par habitant (FPC) et de la population (P) dans les hypothèses ci-dessus, les paramètres étant choisis de manière à représenter une valeur moyenne pour l'ensemble de la Région.

On voit, en bas et à gauche, que la population, en 1920, démarre à 750 000 pour s'accroître suivant l'échelle des temps et selon un taux exponentiel assez

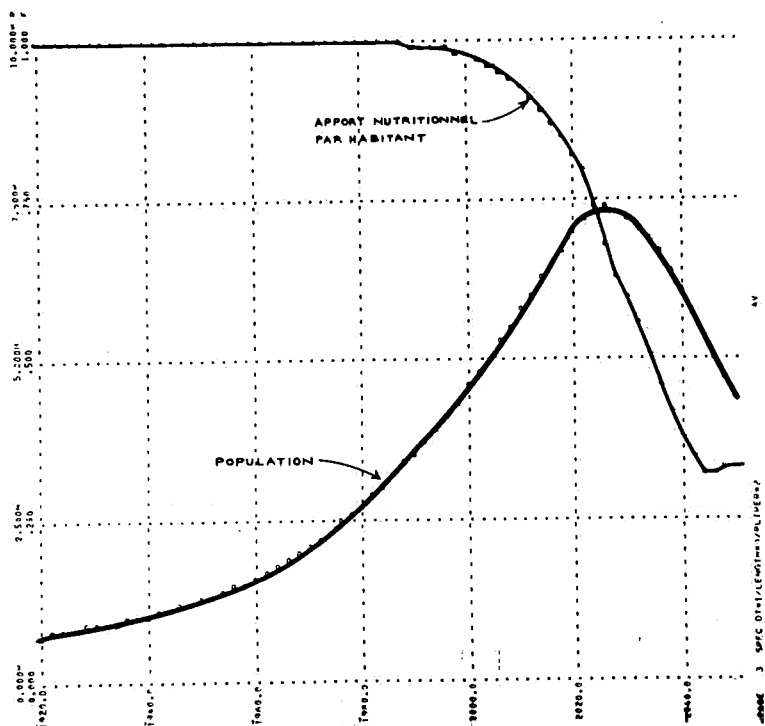


FIG. II.9.1. — KIVU: Simulation n° 1. Zone supposée homogène.  
NUTRITION — POPULATION

stable de 2 à 2,5%, jusque bien en avant dans le siècle suivant. La croissance démographique ralentit vers 2020 et la population atteint un maximum de 7 500 000 habitants (soit 10 fois la population initiale), après quoi s'amorce une régression due aux conditions nutritionnelles. Certes, considérant le caractère approximatif du modèle, il ne faut pas accorder trop d'importance à l'exactitude des dates.

On constate également que l'apport nutritionnel reste pendant longtemps à la norme de 1920. Les premiers signes de détérioration n'apparaissent que vers 2000. Pendant les 20 à 30 années suivantes, selon le modèle, le déclin n'est pas catastrophique parce que, comme nous le verrons plus loin, la population dispose encore de certaines possibilités pour compenser la perte de fertilité des sols par extension des surfaces cultivées. Néanmoins, après cette période initiale de déclin, la situation empire très rapidement. En l'espace de 20 ans, la ration journalière tombe de quelque 1600 à 700 calories, la norme étant de 2000 calories.

La figure II.9.2 montre plus en détail comment la croissance, puis la décroissance démographique sont influencées par l'apport nutritionnel. Elle représente l'évolution des taux de naissance et de décès en même temps que l'apport nutritionnel *per capita*.

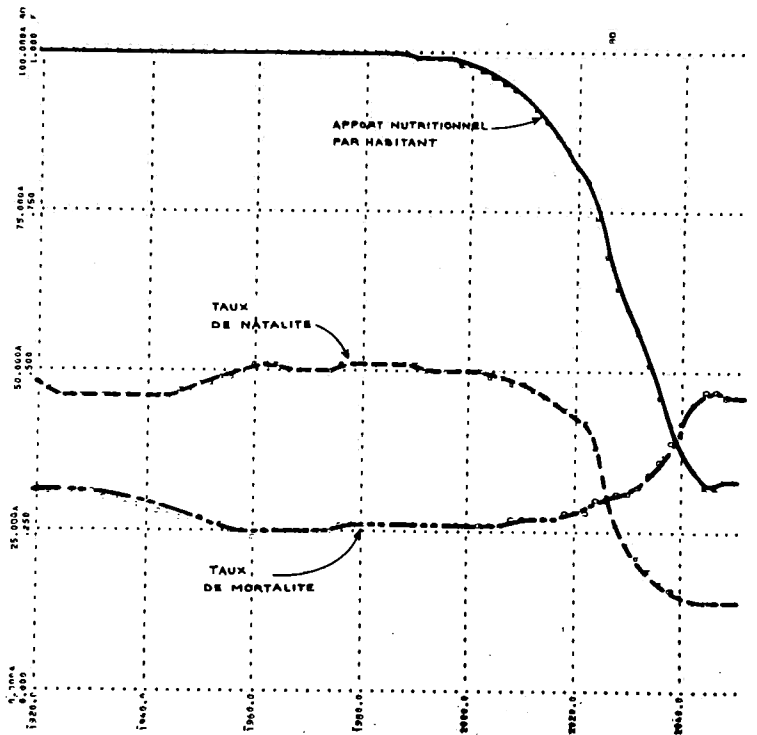


FIG. II.9.2. — KIVU: Simulation n° 1. Région supposée homogène.  
NUTRITION — NATALITE — MORTALITE



A gauche, entre 1920 et 1960, mise à part une légère oscillation due à certaines imperfections initiales du modèle, on observe un faible accroissement des taux de naissance qui passe de 46 ‰ à 50 ‰ et, dans le même temps, une réduction plus substantielle du taux de mortalité qui passe de 31 ‰ à 25 ‰. Dans les deux cas, l'allure de la courbe correspond bien à la réalité des faits. En effet, en dépit de la rareté des données statistiques rigoureuses, les tendances qu'elles indiquent sont bien celles du modèle (cf. I.5).

Taux de mortalité et taux de natalité restent pratiquement inchangés jusque vers l'an 2000. On voit alors le taux de natalité se réduire avant même que ne croisse le taux de mortalité. De plus, dans la suite, la chute de natalité se montre plus forte que l'accroissement de la mortalité.

Ce comportement est caractéristique du modèle et reflète la situation nutritionnelle déjà précaire du Kivu: une légère détérioration de la situation alimentaire provoque un allongement de la période d'infertilité qui suit l'accouchement et entraîne de ce fait, un allongement des intervalles entre naissances.

Par ailleurs, il semble qu'un léger recul de la ration calorique journalière n'entraîne pas une augmentation immédiate de la mortalité. Néanmoins, nous voyons que, dans les 20 années qui suivent (années 2020 à 2040 du modèle), il se produit une réelle catastrophe: l'apport nutritionnel s'effondre, le taux de natalité tombe d'environ 45 ‰ à 15 ‰ et le taux de mortalité grimpe de 25 ‰ à environ 45 ‰.

Même en tenant compte de ce que les valeurs choisies ici ne sont que des ordres de grandeur, il est indéniable que, en l'espace de 20 ans et sans aucun signe prémonitoire, il se produit une véritable calamité. La seule indication favorable est qu'il semble rester encore quelque délai avant le déclenchement de ce processus dramatique.

La figure II.9.3 met en évidence les mécanismes qui entraînent la chute de l'apport nutritionnel *per capita*. En 1920, et loin au-delà, seule une petite partie des sols arables disponibles est cultivée: moins de 25% jusque 1980 environ. De longues périodes de jachère maintiennent la productivité des sols à la norme de 1920. Cependant, quand l'emprise des cultures s'intensifie, après 1980, la productivité des sols commence à diminuer parce que la durée des jachères se réduit, la surpécoration s'installe, le couvert végétal se dégrade, le ruissellement s'accroît et l'érosion décape la couche humifère du sol.

Pour compenser la perte de productivité, chaque paysan doit cultiver plus de terre pour couvrir ses besoins. En effet, les besoins d'alimentation des ménages restent constants et la productivité du sol baisse. Chaque ménage doit, de ce fait, cultiver une surface plus grande pour obtenir la même récolte. La pression sur les sols augmente donc doublement. Or, la surface disponible par famille décroît également. Cet effet « auto-accelérateur » apparaît nettement après l'an 2000. Entre 2000 et 2020, la population (fig. II.9.1) augmente de près de 50% tandis que la pression sur les sols, représentée par la fraction cultivée (FACA), augmente de 100%. Lorsque, après 2020, la totalité de la terre disponible est cultivée, il n'y a plus de compensation possible à la dégradation persistante de la productivité: la ration alimentaire s'effondre et la population connaît la famine. En un bref laps de temps, le sol est détruit et érodé: sa

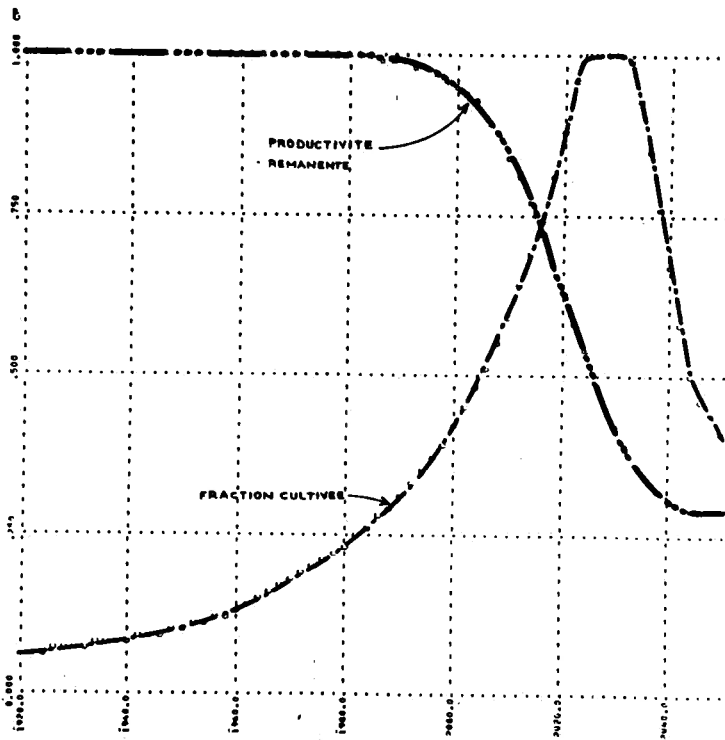


FIG. II.9.3. — KIVU: Simulation n° 1. Région supposée homogène.  
FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

productivité tombe de 100% en 1980 à 95% en 2000 puis à 60% en 2020 et à 30% en 2040. Après 2020, cependant, la population diminue et, les survivants étant trop faibles pour établir de grandes cultures, la fraction cultivée diminue et la productivité se stabilise à son niveau inférieur. A ce moment, le dommage est fait: les bons sols sont érodés et la fertilité irrémédiablement perdue.

La quatrième figure de cette première simulation ne sera pas présentée ici. On se reportera à ce propos à la discussion de la figure correspondante de la deuxième simulation.

Quelque dramatique que soit ce premier scénario, on peut s'étonner de l'époque tardive à laquelle se manifestent les premiers signes de détérioration. On voit, en effet, que, actuellement déjà, dans les parties densément peuplées du Kivu, spécialement à Kabare, la malnutrition est latente, l'érosion visible et la perte de productivité des sols reconnue. Aussi, dans les simulations suivantes, le modèle a-t-il été désagrégé géographiquement de manière à tenir compte des différences existant entre les deux zones du Kivu, quant à la densité de la population et, à un degré moindre, à la fertilité des sols. On pourra

en conclure que les conclusions de la simulation n° 1 sont encore trop optimistes.

Les différences dans la qualité des sols ne jouent en fait qu'un rôle secondaire. Les différences dans la densité du peuplement sont de loin plus importantes. Comme déjà exposé ailleurs, la zone la plus fertile (G) couvre grosso modo les territoires de Kabare et Masisi; elle est la plus peuplée et occupe 20% de la superficie; sa population était estimée en 1920 à environ 500 000 habitants. La seconde zone (L) comprend le restant de la région soit 80%. Sa population est estimée, à la même époque, à 250 000 personnes. Les densités de population de G et de L se présentaient donc initialement dans le rapport de 8 à 1. Ce rapport n'a guère changé actuellement, indiquant qu'il n'y a eu que peu ou pas de migration spontanée d'une zone vers l'autre.

### II.3.3. Simulation n° 2

La simulation n° 2 et les suivantes introduisent la subdivision de la Région en deux zones, les 2/3 de la population étant concentrés sur les 20% de la superficie qui constitue la zone G.

La comparaison entre la simulation n° 1 et les autres montrera l'importance énorme de cette surpopulation locale.

Dans la simulation n° 2 on envisage, entre les deux zones, qu'une migration de G vers L limitée à la proportion des jeunes adultes partant spontanément à la recherche de terres disponibles lorsque la saturation les y contraint.

La figure II.10.1 montre cette fois l'apport nutritionnel et la population pour chacune des deux zones et, en plus, le développement du phénomène de migration des jeunes adultes.

On constate que l'apport nutritionnel reste égal à l'unité (2000 kcal), pour les 2 zones, jusqu'en 1970 environ, époque à laquelle il commence à baisser sur «G». Dix ans plus tard, l'apport calorique y est encore à 0,96 de la norme, mais par après, une chute se produit: en 20 ans, la nutrition baisse de 25%.

En l'an 2000, l'émigration des jeunes, entamée dès 1980, atteint 75%.

Cette émigration importante entraîne un déclin de la population sur «G» résultant du départ des émigrants mais aussi de la forte augmentation de la mortalité et une baisse de la natalité que montre la figure II.10.2. Ce déclin de la population compense la dégradation des terres: l'apport nutritionnel semble se stabiliser pendant une courte période, le temps que les sols moins fertiles de la zone L soient saturés à leur tour, et freinent la migration. Ensuite, les conditions alimentaires se dégradent en une famine profonde et permanente.

Le même scénario se reproduit dans la zone moins fertile (L), mais avec un retard. Il faut observer que la croissance de la population sur «L» s'accélère en fonction de la croissance de l'immigration dès 1980-2020. La population croît de 600 000 habitants en 1980 à 1 800 000 en 2000, à 3 900 000 en 2020. Dix ans plus tard, le déclin s'amorce, avec une chute des apports nutritionnels.

La simulation n° 1, bâtie sur l'homogénéité supposée de la Région, laissait un délai de 50 ans avant que ne surgissent les problèmes sérieux. Les

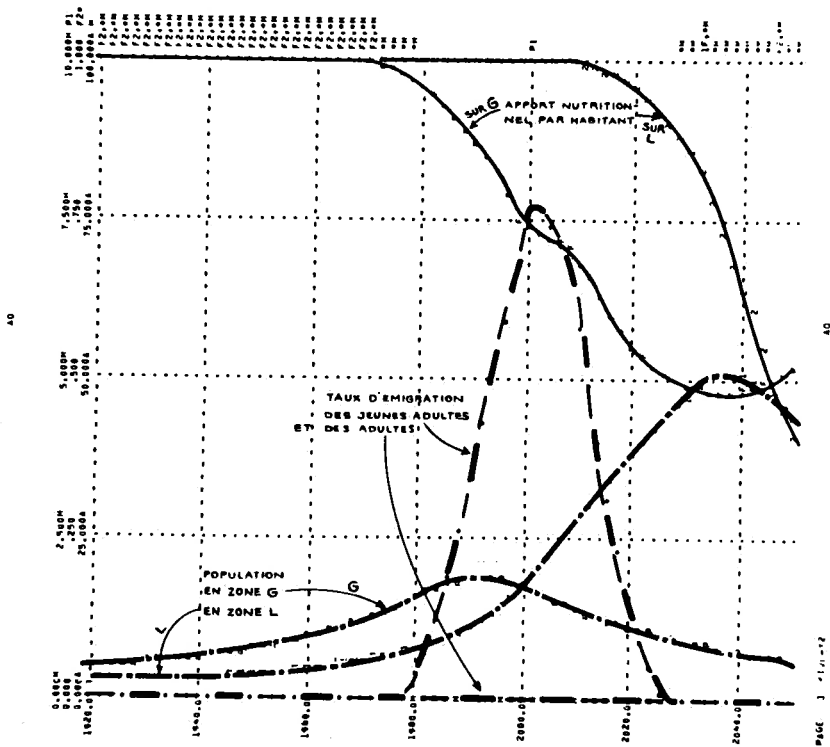


FIG. II.10.1. — KIVU: Simulation n° 2. Migration spontanée.  
NUTRITION — POPULATION — MIGRATION

résultats étaient trop optimistes. La simulation n° 2 et les suivantes, plus proches de la réalité, montrent, en effet, que la situation alimentaire se dégrade fortement, dans la zone peuplée, entre 1980 et 2000.

Notre but ici n'était pas, bien entendu, d'établir une chronologie précise — le modèle utilisé ne le permettrait pas — mais de faire voir combien rapide peut être le déclin de la productivité des terres dès qu'un certain niveau de saturation est atteint.

Les causes les plus évidentes en sont la situation alimentaire qui, en l'espace de 20 ans (1980-2000), devient très déficiente, évolution qui se montre beaucoup plus rapide que prévu.

La figure II.10.2 montre les effets de cette dégradation sur les taux de natalité et de mortalité, mécanismes de l'évolution démographique, combinés avec les effets de la migration, tant en zone G qu'en zone L.

Il n'y a pas de changement brutal en G aussi longtemps que l'apport nutritionnel ne descend pas en dessous de 80% de la normale. A partir de ce point, l'évolution s'accélère: le taux de natalité passe de 45‰ à 30‰ environ; le taux de mortalité augmente de 25‰ à 30‰.

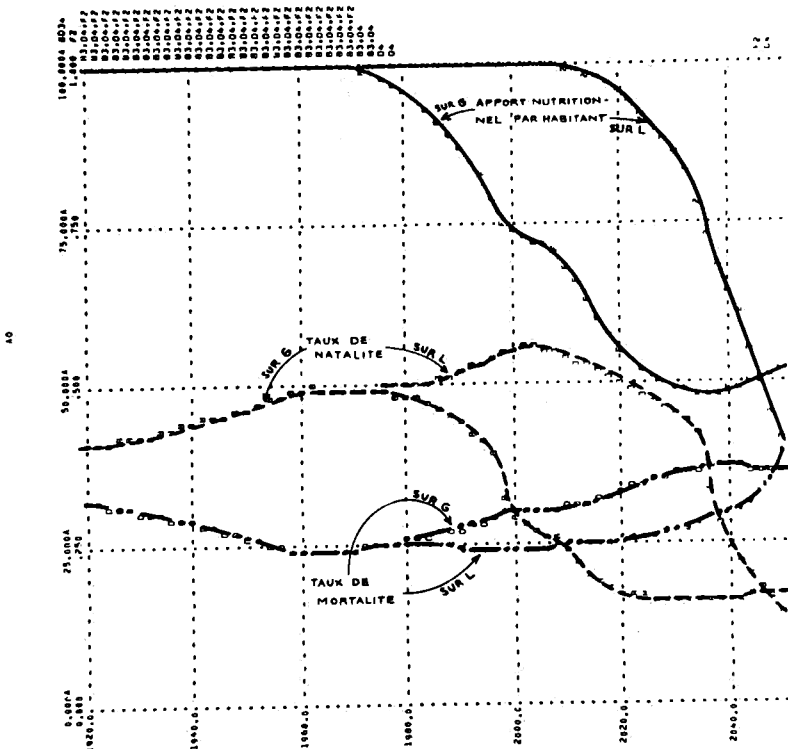


FIG. II.10.2. — KIVU: Simulation n° 2. Migration spontanée.  
NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ

On envisage ici la mortalité par lente diminution des apports nutritionnels; elle est différente de celle que provoque la famine de courte durée. Dans ce dernier cas, la mortalité initiale est très élevée car la population contient des groupes faibles: les personnes âgées, les enfants, les malades qui meurent en premier lieu. Par après, du fait de leur disparition et d'une modification de la composition de la population en classes d'âge, la mortalité relative est plus basse.

Au contraire, dans le cas de malnutrition croissante que nous envisageons ici, l'augmentation du taux de mortalité est lente jusqu'à une valeur limite; nous avons admis qu'il passait de 25 à 30%. Quant au taux de natalité nous avons vu qu'il passera de 45% à 30%. Il faut distinguer ici deux effets: celui de l'émigration qui diminue la proportion de femmes adultes aptes à procréer en zone «G» et la renforce en zone «L» et celui de l'allongement de la durée d'aménorrhée *post partum*. On a vu précédemment l'importance du lien aménorrhée *post partum* — allaitement et nutrition. C'est ce même effet qui se manifeste également pour faire baisser le taux de natalité sur sols «L», après la hausse considérable due à l'immigration.

La figure II.10.3 montre le comportement des principales variables agronomiques. La productivité initiale en zone «L» est évaluée à 70% de la productivité initiale en zone «G». La fraction cultivée des terres arables augmente en fonction de la croissance de la population. Sur G, en 1970, elle atteint 40 à 50%. Or, il faut rappeler que, dans l'agriculture extensive du Kivu, la jachère est pâturée et que sa durée est le seul facteur qui permette au sol de se régénérer. Lorsque cette durée se raccourcit, même pour de très bons sols, la restauration de la structure et la reconstitution du taux de matières organiques par la végétation et par la fumure animale diminuent du fait que ces actions sont moins prolongées.

Par ailleurs, lorsque la durée de la culture augmente, le champ abandonné à la jachère est plus appauvri, la vitesse de reconstitution du couvert végétal est moindre, d'où érosion accélérée. Enfin, la fraction des terres utilisables au pâturage est moindre, l'effectif du cheptel diminue et le fumier disponible pour la fumure de la bananeraie et du jardin de case se raréfie. La surcharge du pâturage contribue à réduire le couvert végétal et aggrave l'érosion. Le tout concourt à accélérer la perte de productivité.

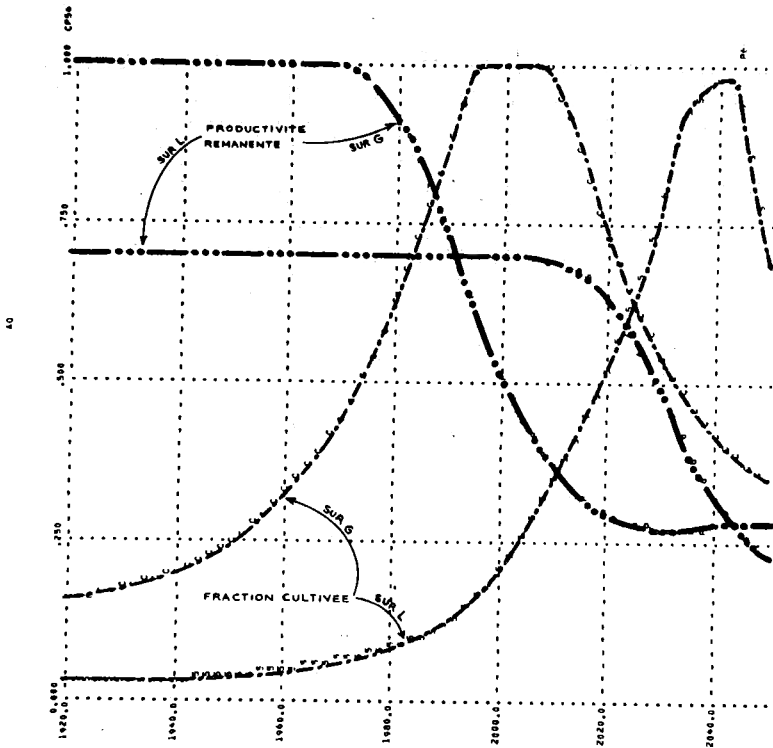


FIG. II.10.3. — KIVU: Simulation n° 2. Migration spontanée.  
FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

Dès ce moment, un processus accéléré de dégradation est entamé. Pour faire face à la baisse de productivité, la population accentue son effort agricole et accroît les superficies cultivées.

La croissance de la population sur «G» telle qu'elle apparaît à la figure II.10.1 est ralentie du fait d'une émigration des jeunes. Cette population passe néanmoins de 1 200 000 en 1970 à 1 800 000 en 1990-2000. En dépit de ce ralentissement, la fraction cultivée passe de 50 à 100% pendant cette même période. En fin de période, toutes les terres arables sont donc cultivées; il n'y a plus de jachères, ni de bétail.

La production totale n'a pas augmenté parce que la productivité, dans le même temps, est passée de 100 à 50%.

Quelques années plus tard, la désertification de «G» débute. La population a fui et ceux qui restent sont trop affaiblis pour cultiver intensément. La fraction cultivée diminue de ce fait et aussi parce que les terres ne valent plus d'être cultivées.

Suite à l'installation des émigrants de G, la fraction cultivée sur «L» passe de 9% en 1980, à 21% en 2000, et à 56% en 2020 et n'atteint la saturation qu'en 2040.

Ces échéances, bien entendu, ne sont qu'approximatives; elles sont le reflet des hypothèses introduites dans le modèle.

Ce que celui-ci nous apprend, c'est la rapidité des phénomènes: quand le processus de détérioration de la zone «G» est déclenché, les années sont comptées. C'est là un facteur particulièrement important en termes de politique de prévention de l'érosion. Nous y reviendrons.

La figure II.10.4, enfin, montre l'évolution des paramètres qui conditionnent l'extension des surfaces cultivées, à savoir:

- La superficie disponible pour les cultures annuelles (FAA);
- La superficie maximale cultivable, en fonction de la force de travail (MFCA);
- La superficie cultivée en fonction des besoins de subsistance (FPSA).

Toutes ces superficies s'expriment en pourcentage de la superficie totale des terres arables (G ou L), celle-ci se situant au niveau 1000 de la figure II.10.4. La superficie disponible égale la superficie totale moins la fraction consacrée aux bananeraies. Cette dernière, à raison de 5 ares par habitant, croît avec la population. Les courbes FAAG et FAAL reflètent donc fidèlement les courbes de population de la figure II.10.1.

La fraction nécessaire pour couvrir les besoins nutritionnels est, elle aussi, proportionnelle à la population, aussi longtemps que la productivité (telle que représentée à la fig. II.10.3) reste égale à la productivité initiale. Pour des valeurs plus basses, le manque de productivité peut être composé par une extension des superficies. Cette compensation toutefois, se situe aux environs de 50% seulement, compte tenu notamment des divers facteurs inhibiteurs (traditions, fatalisme, ...) (cf. ann. II).

On constate, en outre, que la superficie calculée en fonction des besoins reste élevée, même lorsque la population décroît, du fait de la perte croissante de productivité.

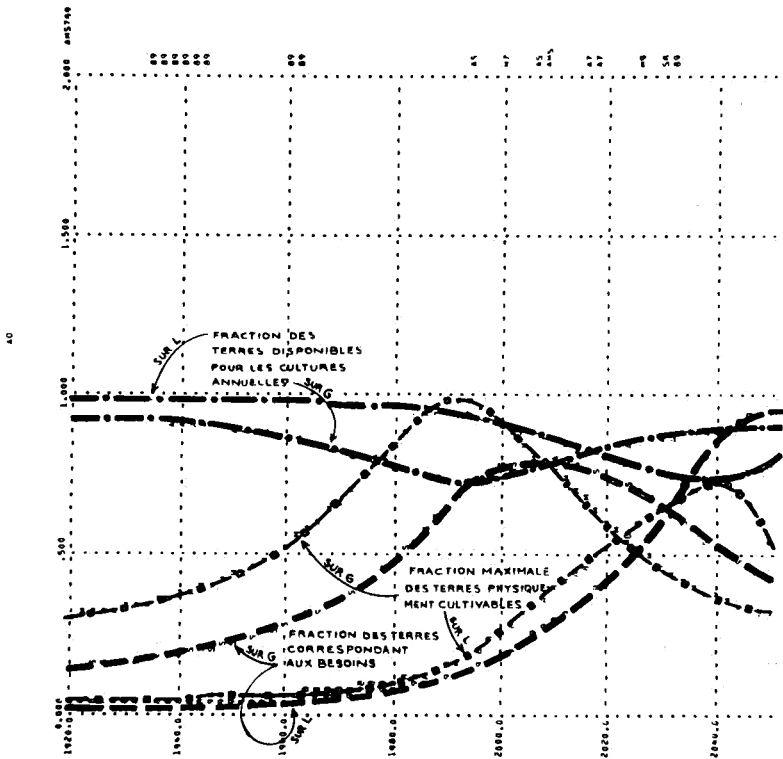


FIG. II.10.4. — KIVU: Simulation n° 2. Migration spontanée.  
LES VARIABLES AGRONOMIQUES.

Quant à la fraction maximale cultivable en fonction de la force de travail, on constate qu'elle croît avec la population aussi longtemps que les apports nutritionnels sont suffisants. S'ils diminuent, la surface physiquement cultivable par unité de production diminue également. La décroissance de la population combinée avec la détérioration de la situation alimentaire se traduit donc par une chute encore plus forte de la superficie totale que la population est capable de cultiver.

La superficie qui est effectivement cultivée dans chacune des zones, FACAG ou FACAL (fraction cultivée des terres arables) s'établit au minimum de ces trois fractions. Jusqu'en l'an 2000 environ en zone G, la superficie nécessaire par rapport aux besoins représente ce minimum et correspond à la fraction effectivement cultivée. Puis pendant 10 ans, c'est la superficie disponible qui devient minimum et ensuite ce sont les limites physiques à la production qui deviennent déterminantes.

Les commentaires ci-avant sur la fraction effectivement cultivée dans la zone G s'appliquent, *mutatis mutandis*, à la zone L.



### II.3.4. Simulation n° 3

Dans les simulations qui suivent, nous allons nous attacher à retarder ou arrêter le processus de dégradation par diverses mesures. Nous testerons également différentes hypothèses et envisagerons «les réponses» du modèle à ces hypothèses et à ces mesures.

Dans la première de ces simulations introduisant dans le processus l'effet de mesures correctives, nous testons l'effet d'une stimulation considérable de la migration des jeunes adultes.

Les motivations de l'émigration des jeunes adultes ne sont pas définies avec précision. Elles peuvent émaner de diverses sources. Nous avons supposé que la recherche de terre à cultiver devait être une des causes principales. Aussi, avons-nous introduit une fonction (AMAG, «availability multiplier for young adults on good soils») qui indique quelle fraction des jeunes adultes va émigrer en fonction de la fraction cultivée des terres disponibles en zone G.

Dans la simulation précédente (n° 2) cette fonction AMAG tient compte de la disponibilité et de la productivité des terres en zones «G» et «L». Dans la simulation n° 3, elle reçoit une forme différente, tenant compte en plus

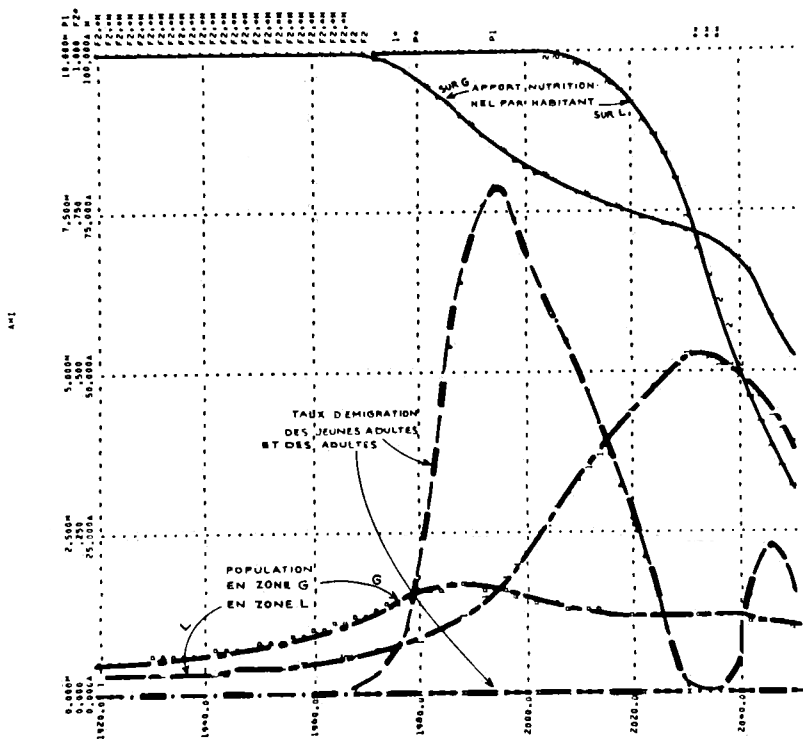


FIG. II.11.1. — KIVU: Simulation n° 3. Migration stimulée.  
NUTRITION — POPULATION — MIGRATION.

de l'effet de stimulation de telle sorte que, pour une même fraction cultivée, l'émigration des jeunes y soit plus élevée.

La figure II. 11.1 comparée à la figure II. 10.1 nous montre les interactions population, émigration et nutrition. Le comportement des variables ne change qu'après 1980, sauf en ce qui concerne l'émigration qui débute une dizaine d'années plus tôt. Le taux annuel d'émigration des jeunes adultes ne dépasse guère 75%, comme dans la simulation n° 2, mais le nombre total d'émigrés est nettement supérieur.

La population en G a une croissance moins rapide et la chute de l'apport nutritionnel est plus graduelle. A l'inverse, en zone L, la population croît un peu plus rapidement et les apports nutritionnels décroissent plus tôt, mais ces différences sont minces. Ce comportement se reflète positivement au niveau du taux de mortalité (fig. II. 11.2) qui, jusque 2040, reste plus bas que dans la simulation précédente (fig. II. 10.2).

Le taux de natalité décroît lentement.

Il apparaît donc qu'une forte et précoce émigration peut répondre aux questions que nous nous étions posées: comment retarder la dégradation des

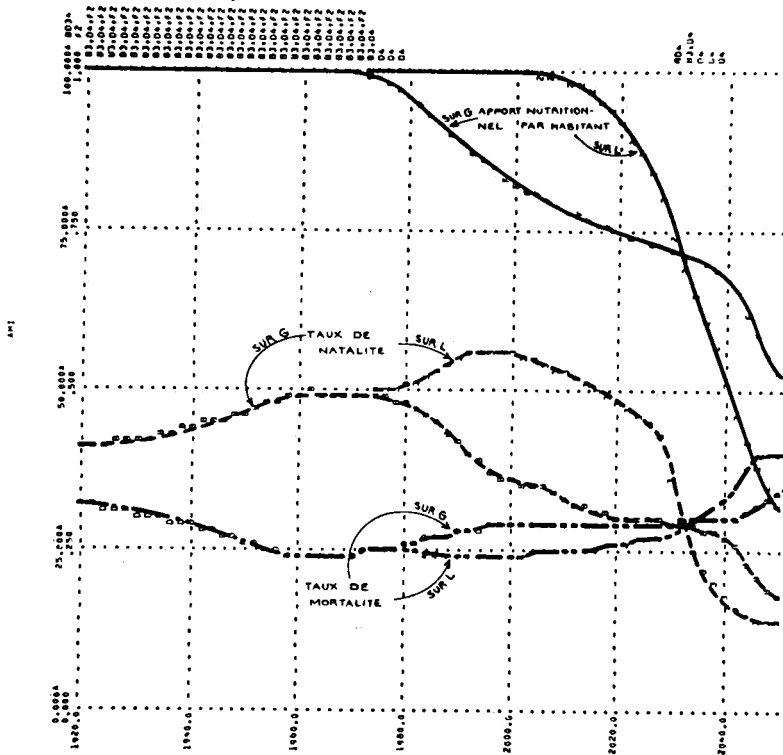


FIG. II.11.2. — KIVU: Simulation n° 3. Migration stimulée.  
NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ.

bonnes terres. Une solution serait une émigration de plus de 50% des jeunes adultes pendant plusieurs générations.

Les figures II.11.3 et II.11.4 permettent de compléter l'analyse de cette simulation par l'examen des superficies cultivées et des productivités rémanentes.

L'évolution de la fraction cultivée et de la productivité rémanente sur les bons sols (zone G) est différente de celle observée pour la simulation précédente. La migration étant plus intense, la fraction cultivée monte un peu moins rapidement et n'atteint que 75%.

Une politique d'émigration a donc pour conséquence, en zone G, une plus lente dégradation des sols. Il y a moins de compensation par extension des surfaces et la fraction cultivée diminue même un peu après 1990. Mais, finalement, la perte de productivité devient tellement grande que l'effet de compensation entraîne une augmentation temporaire de la surface cultivée, laquelle diminue plus tard.

En zone L, l'évolution ne s'est guère modifiée. Les difficultés graves n'apparaîtront qu'en 2030, avec la saturation des terres arables disponibles.

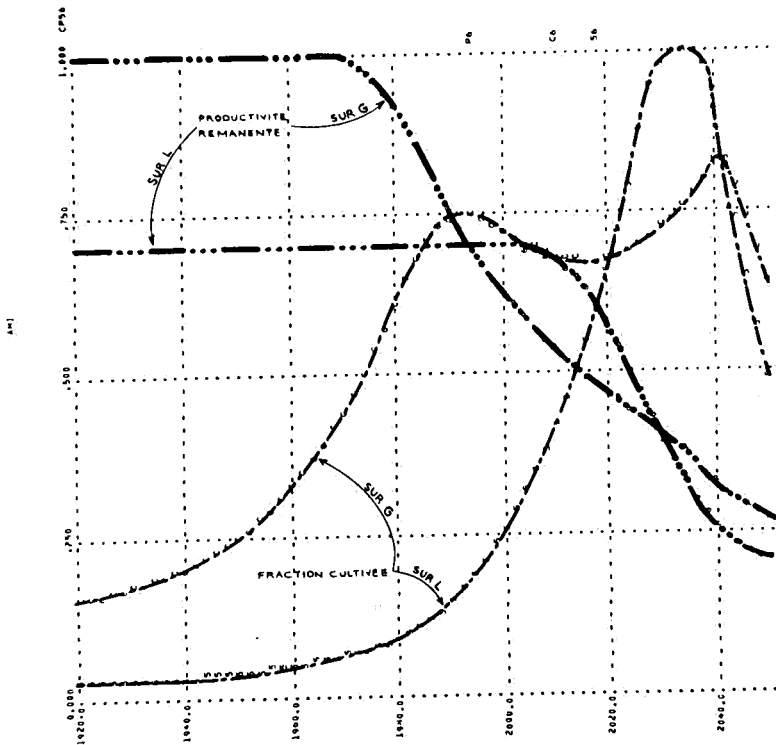


FIG. II.11.3. — KIVU: Simulation n° 3. Migration stimulée.  
FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

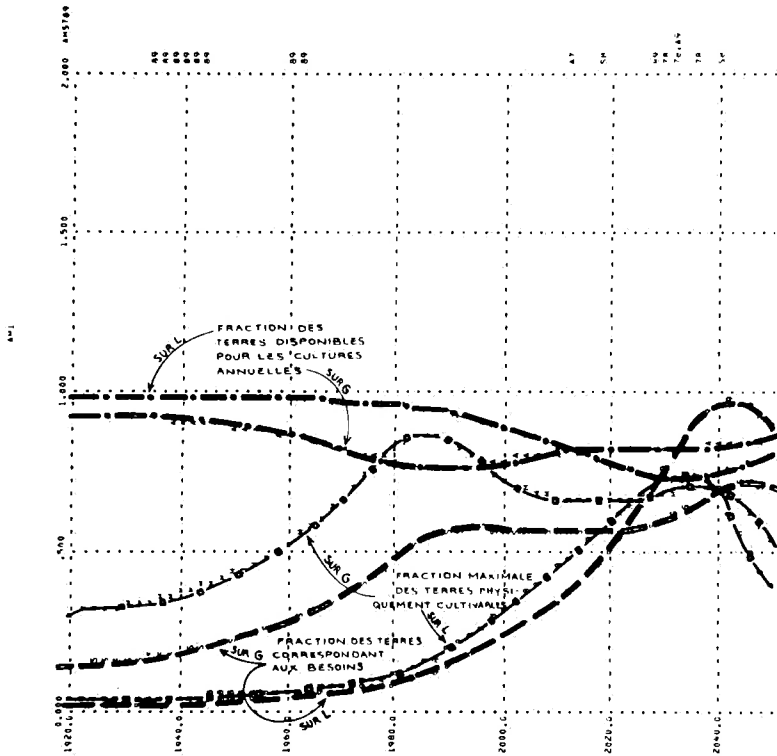


FIG. II.11.4. — KIVU: Simulation n° 3. Migration stimulée.  
LES VARIABLES AGRONOMIQUES.

Il reste peut-être à remarquer que si l'on introduit dans le modèle, en plus d'une émigration stimulée des jeunes, la possibilité d'une modeste émigration engendrée par la peur d'une famine, d'une partie de la population globale de la zone G, le comportement ne change guère.

Nous avons supposé une émigration permanente de moins de 1% par an de la population globale. Le manque de terres étant, de ce fait, légèrement moins aigu, l'émigration des jeunes est un peu moins forte. Nous ne montrons pas de simulation tenant compte de cet élargissement des possibilités d'émigration, les différences étant trop petites.

### II.3.5. Simulation n° 4

Il est toujours difficile de stimuler l'émigration et l'on pourrait penser que de meilleurs résultats seraient atteints avec des programmes de lutte contre l'érosion, programmes qu'il faut d'ailleurs mettre en œuvre de toute façon si l'on veut obtenir des solutions permanentes.

La simulation n° 4 considère la même hypothèse d'émigration que la simulation n° 2, à savoir l'émigration spontanée des jeunes adultes, mais il est supposé qu'un programme de lutte contre l'érosion est appliqué en zone G. On admet qu'il débute en 1980 et que son temps d'exécution est de l'ordre de 30 ans. Son effet sera que le taux annuel de la dégradation irréversible va tendre vers zéro, de manière qu'après 30 ans, il n'atteigne plus qu'environ un tiers de son taux initial, toutes circonstances égales d'ailleurs.

Le délai envisagé de trente ans se justifie facilement. Si l'on commence à planifier un grand programme en 1980, il faudra certainement une période assez longue avant sa mise en œuvre effective. Ensuite, le grand problème sera, après avoir défini les directives techniques, d'en assurer le transfert dans la population et d'amener celle-ci à coopérer. Il faudra aussi trouver les experts en la matière et les matériaux à mettre en œuvre, sans parler du financement!

Le travail à effectuer est énorme et ne peut prendre moins d'une trentaine d'années.

Examinons maintenant la figure II.12.1 montrant le comportement des populations, de l'émigration et des apports nutritionnels. Nous voyons que la grande différence avec la simulation n° 3 est qu'après l'an 2000, la nutrition

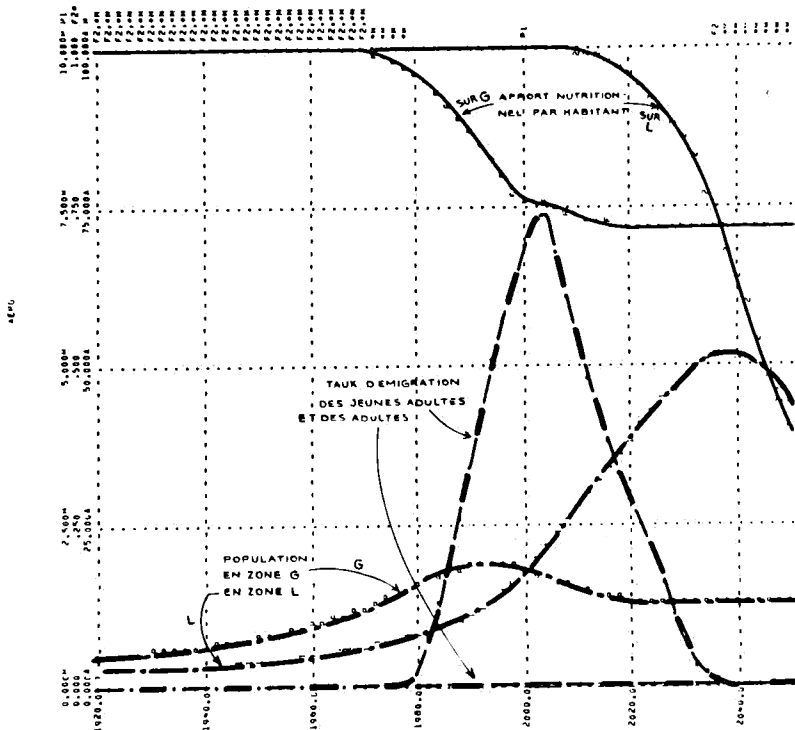


FIG. II.12.1. — KIVU: Simulation n° 4.  
Migration spontanée et contrôle de l'érosion en zone G.  
NUTRITION — POPULATION — MIGRATION.

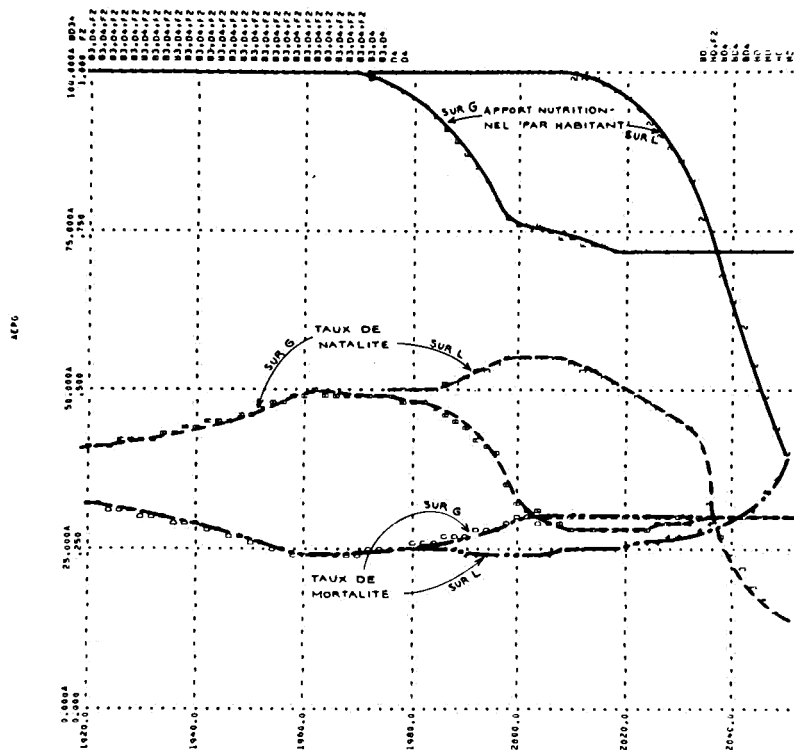


FIG. II.12.2. — KIVU: Simulation n° 4.  
Migration spontanée et contrôle de l'érosion en zone G.  
NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ.

par habitant en zone G ne tombe plus et que la population n'y diminue que très peu et reste quasi stationnaire. Néanmoins, une situation stabilisée à 1500 kcal/jour/habitant (soit les 3/4 de la norme) n'est guère enviable. La différence apparaît aussi dans l'évolution des taux de natalité et de mortalité représentés à la figure II.12.2.

Entre 1980 et 2000, en zone G, suite à la chute de la nutrition, le taux de natalité tombe de 50‰ environ à 30‰. Ceci résulte en partie de l'émigration des jeunes qui change la composition de la population. Toutefois, la cause principale de la dénatalité doit être recherchée dans la malnutrition des mères et l'allongement de l'intervalle entre naissances. Le taux de mortalité ne monte que faiblement. Il est vraisemblable que nous donnons encore ici une image trop favorable des perspectives réelles.

Avec une ration de 1500 kcal/jour/habitant, il est probable qu'apparaîtra une malnutrition protéo-calorique assez importante. Celle-ci rendra la population moins résistante aux maladies et infections; des épidémies sont à prévoir, avec des mortalités nombreuses.

La figure II.12.3 montre les résultats au point de vue agronomique. On voit que la productivité en zone G continue à tomber jusque l'an 2015 environ, du fait que le programme n'est pas terminé, ou qu'il est imparfait, après quoi elle se stabilise à une valeur finale de 40% environ. La comparaison des figures II.12.3 et II.10.3 montre que l'effet du programme de contrôle de l'érosion est de stabiliser la productivité rémanente des sols à 40% de la productivité initiale au lieu de 25%. D'autre part, la comparaison des figures II.12.2 et II.10.2 indique le maintien de l'apport nutritionnel aux environs de 75% de la norme au lieu de 50%. Enfin, la comparaison des figures II.12.1 et II.10.1 montre que le programme a pour effet de stopper la réduction de la population après 2020. Apparemment, la productivité rémanente en zone G est suffisamment élevée pour qu'une partie de la population qui avait quitté les bonnes terres y soit retournée étant donné la chute profonde de la productivité en zone L. La conséquence est que la fraction cultivée diminue d'abord mais augmente à nouveau plus tard.

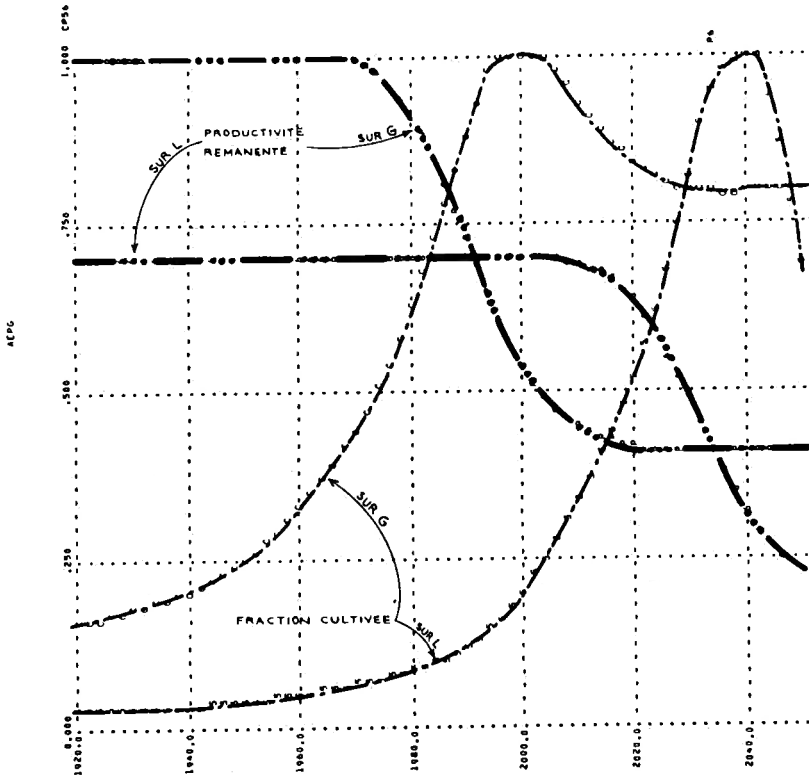


FIG. II.12.3. — KIVU: Simulation n° 4.  
Migration spontanée et contrôle de l'érosion en zone G.  
FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

L'intérêt principal de cette simulation est de montrer le danger d'une implantation trop tardive ou trop lente d'un programme de lutte contre l'érosion. Ce danger résulte du fait que la dégradation, aussi longtemps que le programme n'est pas implanté et pendant la durée d'implantation, continue à se manifester.

Les retards et les demi-mesures ne font donc qu'aggraver les conditions déjà extrêmement difficiles que doit affronter la réalisation d'un tel programme. Ce dernier est conçu pour prévenir la dégradation irréversible et non pour la corriger. A partir d'un certain niveau de dégradation, quand la famine est en vue ou déjà déclarée, le programme devient inefficace.

II.3.6. Simulation n° 5

Dans cette simulation sont étudiés les effets combinés d'un programme anti-érosion et d'une stimulation de migration. L'idée est que la vraie cause de la dégradation est la surpopulation. Par conséquent, si l'on réussit à retarder la dégradation en réduisant la pression démographique et à utiliser le temps

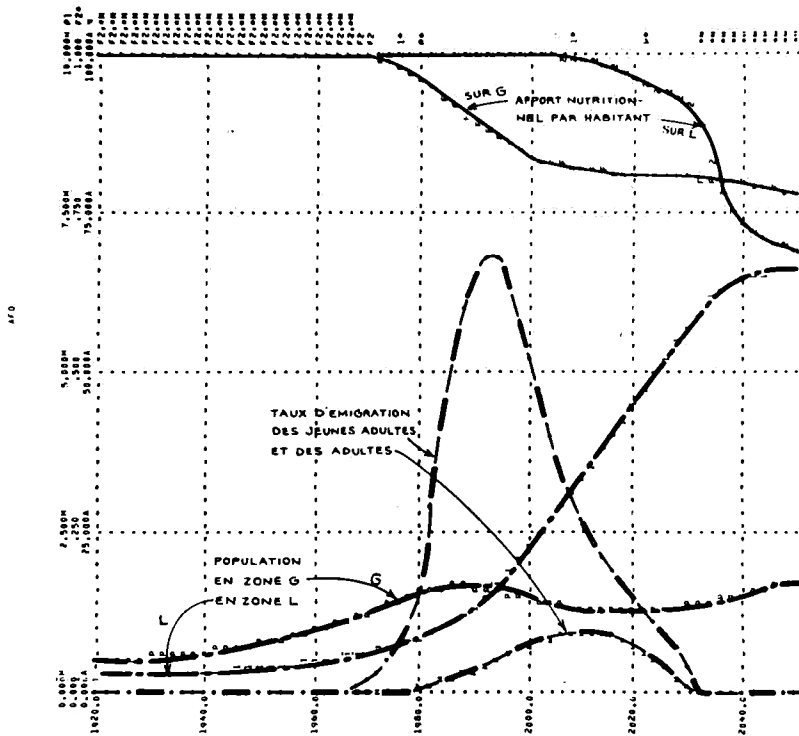


FIG. II.13.1. — KIVU: Simulation n° 5.  
Migration stimulée et contrôle de l'érosion en zone G et en zone L.  
NUTRITION — POPULATION — MIGRATION.



gagné pour implanter un programme anti-érosion, il y a une chance pour que ce dernier réussisse à arrêter la dégradation avant qu'elle ne soit trop avancée.

Nous essayons donc maintenant une combinaison de tous les programmes que nous avons discutés: émigration à la fois des jeunes et d'un pourcentage de la population globale, programme anti-érosion mais appliqué cette fois simultanément tant en zone G qu'en zone L.

La figure II.13.1 comme d'habitude montre la nutrition par habitant et la population. Rappelons que l'échelle de l'émigration globale (émigration par groupes familiaux entiers) va de 0 à 200‰. Le comportement des variables est initialement le même que dans la simulation avec la migration seule (simulation n° 3) mais, à cause du programme anti-érosion, le comportement final est meilleur: la nutrition par habitant sur bons sols diminue mais beaucoup moins qu'avant. La nutrition sur moins bons sols ne tombe pas à un niveau trop faible. L'émigration des jeunes reste toujours en dessous de 75% et l'émigration globale ne dépasse pas 10‰. La population sur bons sols augmente à nouveau vers la fin et la nutrition diminue.

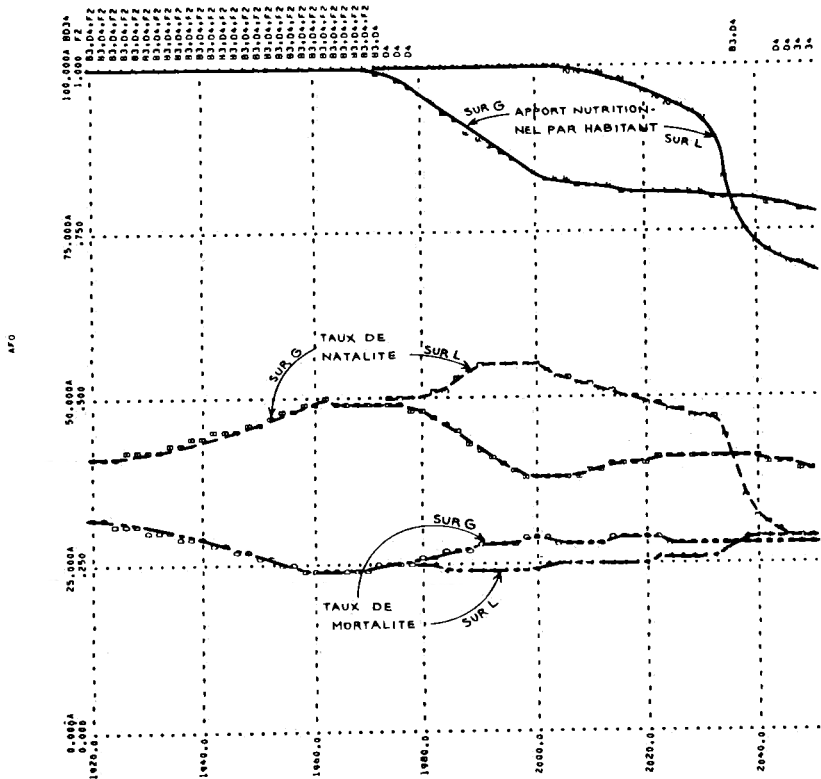


FIG. II.13.2. — KIVU: Simulation n° 5.  
Migration stimulée et contrôle de l'érosion en zone G et en zone L.  
NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ.

Le comportement des taux de natalité et de mortalité (fig. II. 13.2) est plus favorable que dans les cas précédents. Les taux de mortalité restent bas et les taux de natalité ne diminuent pas beaucoup.

Une des conclusions qui s'impose est que, dans les limites des hypothèses admises, notamment le maintien des hautes valeurs de fécondité, il n'est d'autre mécanisme pour équilibrer natalité et mortalité que la diminution de la nutrition.

Si l'on considère les variables agronomiques (fig. II. 13.3, II. 13.4), critères essentiels pour une politique agricole, on constate que les productivités rémanentes RPAG et RPAL se dégradent comme dans les autres simulations mais qu'elles restent quand même au-dessus de 50%.

Nous exposons en détail dans l'annexe II comment la perte de productivité (écart entre productivité initiale et productivité rémanente) se subdivise en une perte par dégradation irréversible, résultat de l'érosion, et une perte par dégradation réversible, résultat de l'appauvrissement du sol en éléments minéraux et organiques. En plus d'un programme de contrôle de l'érosion — ou dégradation irréversible — il convient de mettre en œuvre un programme

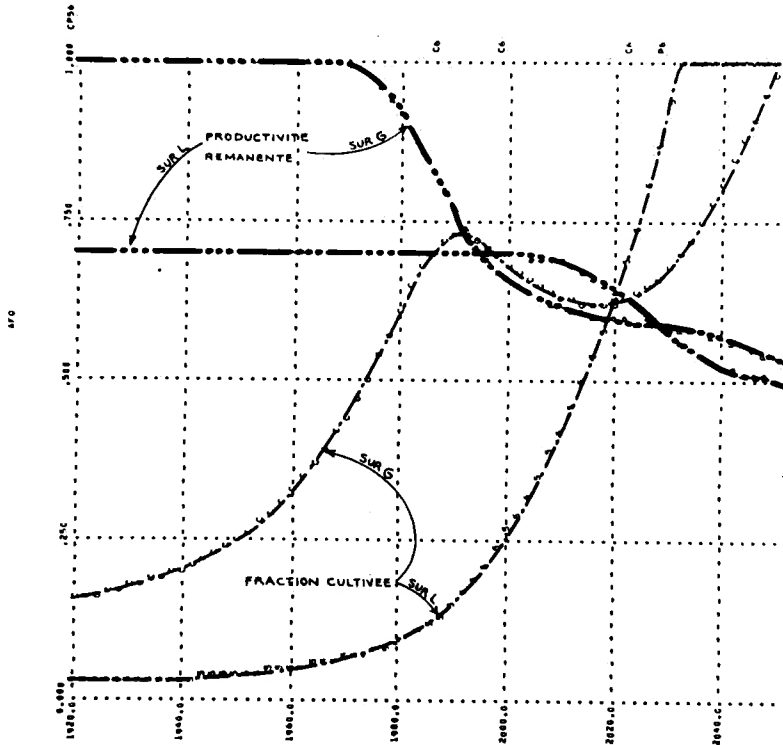


FIG. II. 13.3. — KIVU: Simulation n° 5.  
Migration stimulée et contrôle de l'érosion en zone G et en zone L.  
FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

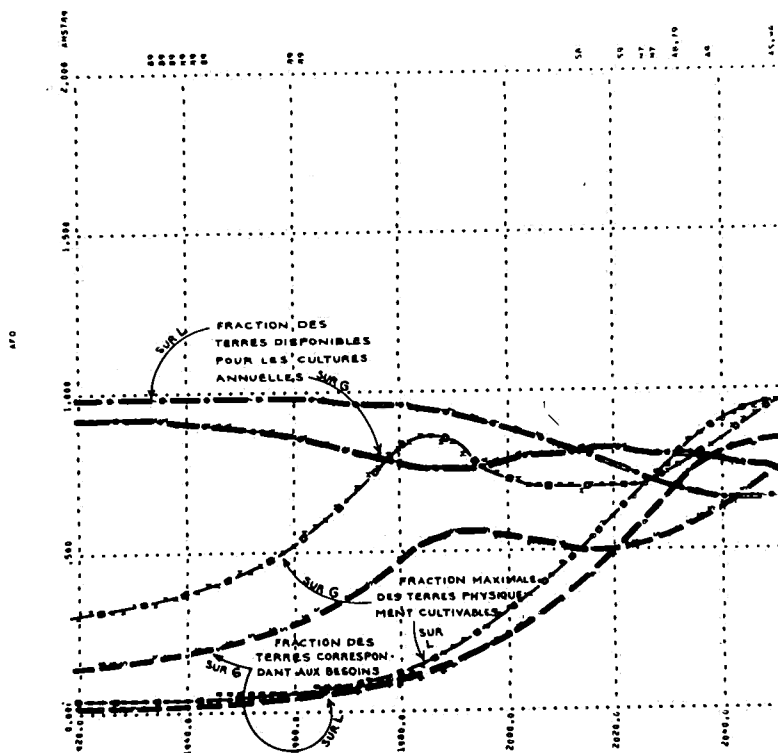


FIG. II.13.4. — KIVU: Simulation n° 5.  
Migration stimulée et contrôle de l'érosion en zone G et en zone L.  
LES VARIABLES AGRONOMIQUES.

de maintien de la fertilité minérale et organique des sols, autrement dit un programme d'intensification des techniques de culture. Il peut donc être beaucoup gagné par l'association d'un tel programme avec le simple contrôle de l'érosion. C'est dans cette direction qu'il faut orienter la recherche d'une vraie modernisation de l'agriculture.

Les conclusions de cette simulation méritent une très attentive considération. Elles montrent, en effet, que toutes les alternatives envisagées n'apportent rien de plus qu'une aide temporaire.

### II.3.7. Simulation n° 6

Le résultat de cette dernière simulation est de montrer que si l'on commence le programme contre l'érosion en zone L, 20 ans plus tard, c'est-à-dire vers l'an 2000, le seul changement important est que la productivité relative y diminue fortement, pour s'établir à 30%, c'est-à-dire de la moitié de sa valeur initiale, avec la conséquence qu'il sera impossible pour une famille de cultiver assez pour ses besoins.

## II.4. Conclusions

### II.4.1. Urgence et volume des interventions

A court terme, le problème du Kivu de montagne, dans son ensemble, n'est pas un manque global de terres; le problème est la saturation des bonnes terres (Kabare et Masisi notamment) et leur dégradation par mises en culture trop fréquentes non compensées par une intensification de la phytotechnie (le modèle a, de propos délibéré, ignore les aspects du problème sous l'angle de la zootechne).

Cependant, à long terme, le problème devient celui d'un manque global de terres: les deux zones considérées (bonnes terres et moins bonnes terres) seront bientôt saturées et connaîtront le même phénomène de dégradation du sol dû aux cultures trop fréquemment répétées et aux méthodes culturales inadaptées.

A propos de la politique à suivre pour pallier cette menace, deux grands dangers se présentent. Le premier consisterait à attendre les signes évidents d'une dégradation avancée pour déclencher une intervention. Les simulations nous apprennent, en effet, qu'au moment où le processus de dégradation commence, soit selon nos estimations vers 1980-1990, un effet d'avalanche fera rapidement monter la fréquence de culture pour compenser la perte de productivité, ce qui entraînera une dégradation rapide des sols. Il ne faut donc pas attendre que l'érosion ait fait son œuvre pour démarrer la lutte contre ce phénomène. Cette lutte doit être essentiellement préventive puisque, à partir d'un certain niveau de dégradation, les effets de l'érosion sont irréversibles. De plus, l'installation d'un réseau complet de lutte anti-érosive demande une période très longue pendant laquelle se poursuit la dégradation. A défaut de l'implanter tôt, son effet sera gravement réduit. Or les enquêtes alimentaires montrent que la situation se détériore déjà actuellement, d'où l'urgence.

Le second danger consisterait à donner aux interventions des dimensions trop modestes, se bornant à satisfaire les nécessités les plus urgentes, pour éviter une aggravation de la situation, sans chercher à résoudre les vrais problèmes. Or, ceux-ci deviennent toujours plus importants et temporiser rendra la situation plus difficile. Dès à présent, on ne peut plus se contenter de palliatifs: les forces engendrant la détérioration sont trop puissantes: croissance de la population, agriculture extensive, volonté de la population de se maintenir où elle se trouve et surtout enchaînement à l'économie de subsistance.

Comme nous le disions dans la synthèse de la première partie de l'étude, pour réaliser un progrès socio-économique, si minime soit-il, il importe que le volume des interventions soit tel qu'il engendre des effets positifs susceptibles de compenser, et au-delà, les effets négatifs de la détérioration. Or, cette dernière s'accélère d'année en année. Toute intervention en dessous d'un tel volume n'a donc qu'un effet de retardement.

#### II.4.2. *Opportunité d'une politique d'émigration*

La prévention de la surpopulation locale doit bénéficier du plus grand ordre de priorité. Si l'on considère impossible ou peu souhaitable de limiter la croissance de la population, la seule façon de prévenir une surpopulation locale est de stimuler l'émigration. Nous avons vu qu'une émigration de jeunes et une petite émigration globale suffisent pour retarder une sursaturation.

En retardant la sursaturation, l'émigration se montre particulièrement utile en ce sens qu'elle donne aux interventions plus fondamentales en matière de lutte contre l'érosion, de perfectionnement technique et de refonte de structures du monde rural, la possibilité de se développer en dehors du climat de catastrophe engendré par la famine menaçante. Cette conclusion n'est pas seulement vraie pour l'interaction entre les deux zones de fertilité considérées au Kivu de montagne. Elle l'est *a fortiori* si l'on considère un secteur géographique plus vaste.

Il est bien connu qu'une politique d'émigration forcée est dangereuse et difficile. Il faut donc, en premier lieu, étudier les motivations incitant les jeunes des zones surpeuplées à quitter le terroir ancestral pour s'installer dans des zones agricoles voisines.

L'expérience acquise pendant la période coloniale par la Mission d'Émigration des Banya-Ruanda a mis en évidence la complexité et le coût des mesures requises pour provoquer l'émigration volontaire, pour organiser les transferts et pour réinstaller les familles déplacées dans la région d'accueil. Nous ne nous attarderons pas sur les multiples aspects techniques et socio-psychologiques à considérer, nous bornant à relever ci-dessous une des conditions les plus essentielles du succès de telles opérations.

#### II.4.3. *Politique routière, condition sine qua non de succès d'une politique d'émigration*

Les émigrés restent attachés à leur terroir d'origine par de multiples liens affectifs, traditionnels, familiaux ou claniques. Ils n'accepteront que sous la contrainte de rompre cet attachement en s'installant dans une situation qui les couperait de toute possibilité de contact avec la colline dont ils sont issus.

Une nécessité évidente est donc un éloignement relativement réduit entre zone de départ et zone d'accueil et l'existence entre elles de communications accessibles à la masse rurale. Or, actuellement, les communications par voie terrestre entre les deux zones constituant le Kivu montagneux sont peu importantes.

Il faut, en outre, considérer l'opportunité, déjà évoquée sub I.10, d'élargir le cadre géographique auquel s'est limitée la présente étude. Il n'y a, par exemple, aucune raison de supposer que l'émigration des habitants de Kabare et Masisi soit moins opportune s'ils se dirigeaient vers des régions situées en dehors du Kivu de montagne.

Il y a même beaucoup de raisons de croire qu'il serait préférable de stimuler une émigration vers les régions situées loin à l'ouest des Mitumba mais, ici aussi, nous constatons l'absence de communications.

Le Kivu de montagne est, en fait, complètement isolé du reste du Zaïre. Les anciennes routes vers Kindu et Kisangani, à partir de Bukavu, ne sont plus utilisables. Quant à la route vers Kisangani via Lubero et Beni, elle est praticable dans des conditions très précaires pendant la saison des pluies. Si l'on veut promouvoir la migration et du même coup permettre au Kivu de se développer, il faut briser son isolement par le rétablissement et l'extension du réseau routier.

Construire des routes, bien entendu, ne constitue pas un incitant suffisant pour décider les jeunes à émigrer. Par ailleurs, il est indispensable d'éviter une migration désordonnée et la réinstallation sauvage dans la zone d'accueil d'une structure rurale qui a prouvé, dans la zone de départ, son inadaptabilité au progrès socio-économique.

L'établissement ou le rétablissement des voies de communication doit donc s'accompagner de l'implantation, au long de ces axes, de projets de développement rural, inspirés peut-être de l'ancienne formule des paysannats que nous avons développée au chapitre I.8.

Un tel programme combinant constructions routières, projets de développement rural et transferts de population constitue sans doute un élément essentiel d'une action intégrée pour la solution des problèmes du Kivu, avec l'avantage additionnel que l'implantation des projets de développement peut contribuer puissamment à la rentabilité des projets routiers. Plusieurs études effectuées pendant la période coloniale ont montré l'intérêt économique de l'implantation de tels programmes à l'ouest de la chaîne des Mitumba.

Elle aurait ainsi pour effet, par la voie du salariat, d'injecter dans l'économie locale des apports financiers importants. Ceux-ci à leur tour, contribueraient à stimuler l'économie d'échanges. De plus, elle peut être conçue de manière à créer un bon nombre d'emplois et influencer ainsi très favorablement la situation au point de vue chômage et sous-emploi.

Retenons toutefois que, considérée sous l'angle des problèmes du Kivu, la fonction essentielle des voies de communication est de rompre l'isolement inhibiteur du développement et d'ouvrir des soupapes par où puisse s'échapper la pression démographique.

L'accent mis ci-avant sur le programme routier et la création concomitante de projets de développement rural dans les régions d'accueil des populations migrantes ne doit pas faire perdre de vue l'indispensable intégration de l'ensemble des mesures préconisées en un projet global de développement socio-économique portant à la fois sur les zones de départ et sur les zones d'accueil.

Dans un tel projet doivent être dûment coordonnées les actions les plus diverses allant de l'implantation des dispositifs anti-érosifs aux projets industriels en passant par toutes les actions d'intensification des méthodes phytotechniques et zootechniques, l'organisation commerciale, les structures économiques et les actions sociales.

#### II.4.4. Le développement régional intégré

Dans la première partie de cette étude, nous avons relevé au nombre de causes de la situation nutritionnelle défavorable du Kivu, un défaut des structures économiques entravant les transferts d'excédents vivriers d'une région à l'autre (chap. I.7). En outre, nous avons rangé le développement de zones économiques complémentaires au nombre des mesures à préconiser pour remédier à cette situation (chap. I.10). Enfin, nous avons insisté sur la relation entre économie de subsistance, auto-consommation et situation nutritionnelle. C'est dire que la prévention des disettes et des famines ainsi que la correction des carences nutritionnelles ne peuvent être réalisées valablement de façon durable que par le biais d'un programme intégré de développement régional. En dehors d'un tel programme, il n'y a que des palliatifs ou des actions caritatives.

Revenant sur la politique routière, encore que ce sujet déborde un peu du cadre de notre étude, nous relèverons l'importante contribution qu'elle peut apporter, au-delà de sa fonction d'incitant à l'émigration, au développement régional. L'absence de spécialisation régionale et d'échanges interrégionaux est caractéristique d'une économie sous-développée. La création et le maintien d'un bon réseau de communications est, de toute évidence, un élément important et prioritaire pour pallier ce défaut et permettre le développement de complémentarités économiques. La mise en œuvre d'un programme routier aurait par ailleurs certaines incidences pratiques favorables à l'action générale de développement.

En bref, nos travaux nous permettent de conclure que les conditions existant au Kivu de montagne, surtout dans la zone fertile, sont tellement mauvaises et se détériorent tellement vite, sous l'action combinée de l'augmentation de la densité de la population et de la diminution de la productivité des terres, que tous les efforts qui pourraient y être faits en vue de changer les méthodes agricoles et *a fortiori* de déclencher un processus de développement socio-économique ne pourraient gagner de vitesse le processus de dégradation de la situation.

Nous croyons donc qu'il faut intégrer le développement du Kivu montagneux avec celui des régions voisines et commencer par une politique capable de diminuer la pression démographique, dans la zone surpeuplée c'est-à-dire une politique d'émigration accompagnée, si possible, d'autres mesures, telles que l'espacement des naissances.

L'aide initiale à apporter au Kivu de montagne consiste donc en la création de routes, combinée avec l'aménagement de pôles d'attraction, de manière à attirer et recaser le surplus de population locale. Ceci, comme dit ci-avant, ne peut être dissocié d'une politique sévère de lutte contre l'érosion, de manière à préserver les sols, ni des multiples actions d'un programme global de développement portant à la fois sur les zones de départ et sur les zones d'accueil.

## II.5. Extension au Rwanda

### II.5.1. Considérations générales

La situation, décrite dans la première partie de l'étude, est principalement basée sur les conditions prévalant à Kabare, en Sud-Kivu, que nous avons extrapolées à l'ensemble du Kivu montagneux. Nous avons toutefois indiqué ci-avant que les principales hypothèses sur lesquelles se base le modèle sont valable pour une région beaucoup plus étendue comprenant, par exemple, la République du Rwanda.

Au Rwanda également, les données disponibles permettent de distinguer une zone à sols fertiles et une zone à sols moins fertiles, de telle sorte qu'il a semblé intéressant d'appliquer le modèle présenté au cas du Rwanda et de simuler les développements susceptibles de s'y produire.

D'autres auteurs déjà, utilisant d'autres méthodes, ont étudié les perspectives de l'agriculture et de la nutrition au Rwanda. Il sera donc possible de comparer les conclusions de part et d'autre.

Les diverses simulations présentées ci-après sont similaires à celles du chapitre II.3 à l'exception du fait que nous avons utilisé ici les paramètres du Rwanda.

En effet, si l'on considère que les processus démographiques et agronomiques du Kivu et du Rwanda sont de nature similaire, il suffira pour ajuster le modèle au cas du Rwanda, d'y apporter les modifications quantitatives ci-après. La surface totale du Rwanda est d'environ 25 590 km<sup>2</sup>, contre 34 360 pour la région étudiée du Kivu. La fraction constituée par les bons sols en représenterait la moitié au lieu du 1/5 comme au Kivu. La population rwandaise, en 1970, était de 3 500 000 habitants soit le double de celle considérée au Kivu. Il n'y a aucune raison de supposer que ce rapport de 2 à 1 puisse avoir été différent en 1920, année initiale des simulations effectuées. Nous avons donc admis que, en 1920, la population du Rwanda était de 1 500 000 habitants, c'est-à-dire encore une fois le double de celle du Kivu. La plus grande partie de la population habitait les terres fertiles; nous avons estimé cette fraction à 1 200 000 contre 300 000 dans la zone moins fertile. Tels sont les seuls changements qui ont été effectués. Nous commentons ci-après les quelques simulations réalisées pour le Rwanda par cette extrapolation sommaire du modèle élaboré pour le Kivu. Les résultats en sont communiqués à titre quasi indicatif dans le but, essentiellement, de mettre en évidence l'intérêt que pourrait présenter une étude mathématique plus précise des perspectives rwandaises.

Les figures sont présentées avec un commentaire plus réduit et ce pour deux raisons. Tout d'abord, le lecteur est à présent familiarisé avec la lecture et l'interprétation des graphiques. Ensuite, bien que désireux de montrer la versatilité des méthodes employées, nous ne souhaitons pas trop insister sur les résultats obtenus au Rwanda dans l'état actuel du travail. On dispose pour ce pays de beaucoup plus de données que pour le Kivu mais il ne nous a pas



été possible de les étudier en détail. La conformité de nos résultats avec les conclusions de LEMARCHAND (1969), PRÉFOL & DELEPIERRE (1973) montre toutefois l'intérêt qu'il y aurait à développer le modèle plus en détail en vue de son application au Rwanda.

Nonobstant la similitude de maints aspects démographiques et agronomiques, il y a, entre les conditions du Kivu et celles du Rwanda, outre l'existence d'un module nutritionnel particulier, quelques différences très importantes dont plusieurs dans le sens d'une aggravation des perspectives dégagées pour le Kivu.

Concernant la nutrition, il existe, pour l'ensemble du milieu rural rwandais, deux modules alimentaires très simples et monotones (VIS *et al.* 1972 et 1975a):

- 1) Le premier module est celui des régions de moyenne altitude (1400-2000 m), c'est également celui du Sud-Kivu, zone climatique tropicale à saison sèche. L'alimentation y est caractérisée par quatre aliments principaux: les haricots, les patates douces, le manioc, les bananes et la bière de banane. Les haricots et les patates douces représentent 50% de l'apport énergétique total. Certaines distorsions du premier module existent notamment dans les

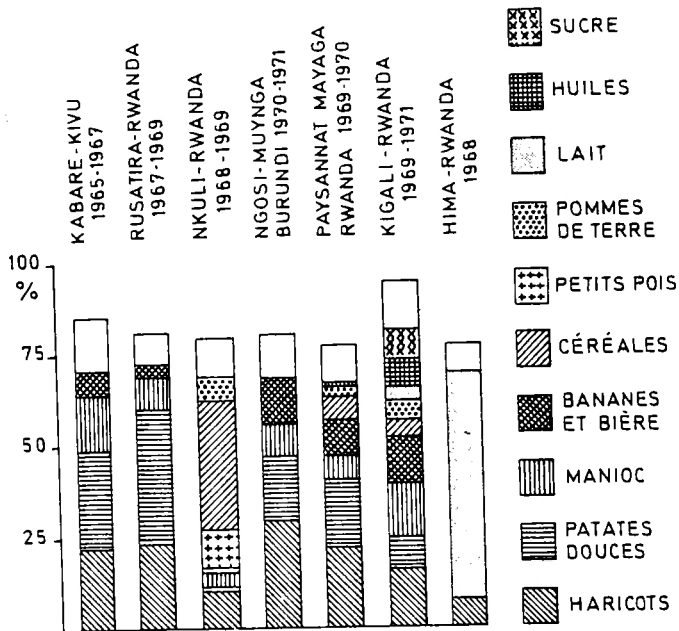


FIG. II.14. — Apports énergétiques dans plusieurs régions d'Afrique centrale interlacustre. Apports énergétiques par tête d'habitant et par jour exprimés en pour cent des besoins théoriques tels que définis par la F.A.O. (1957) pour diverses régions interlacustres rurales d'Afrique centrale, ainsi que pour une ville Kigali (Rwanda) et un « paysannat » du Mayaga. Il est fait mention, en outre, de l'apport énergétique chez les pasteurs Hima. Rusatira est exemplatif d'une région de moyenne altitude et Nkuli d'une région de haute altitude. Source: VIS *et al.* (1975a).

régions de Kibungu où la consommation de bananes est très importante, et de Kamembe où il y a peu de patates douces et de manioc. Dans la plaine de la Ruzizi (dont l'altitude est au-dessous de 1000 m), la proportion de manioc dans l'alimentation devient prépondérante.

- 2) Le second module est celui des régions de haute altitude (au-dessus de 2000 m) à climat isothermal. Les aliments principaux sont les légumineuses (haricots, petits pois), les céréales (maïs, surtout sorgho, et, dans certaines régions, le blé) et finalement les pommes de terre. Il n'y a presque plus de patates douces, ni de bananes, ni de manioc. Le régime alimentaire est donc plus varié que celui du premier module.

Là où les tubercules sont présents en grande quantité dans le régime alimentaire, il y a couverture pour les apports énergétiques moyens; par contre, les apports protéiques seront déficitaires. Là où il y a des céréales et des légumineuses, les apports protéiques moyens sont mieux assurés pour un apport énergétique déficitaire par rapport aux normes internationales. Les figures II.14 et II.15 donnent la représentation graphique de ces déficiences.

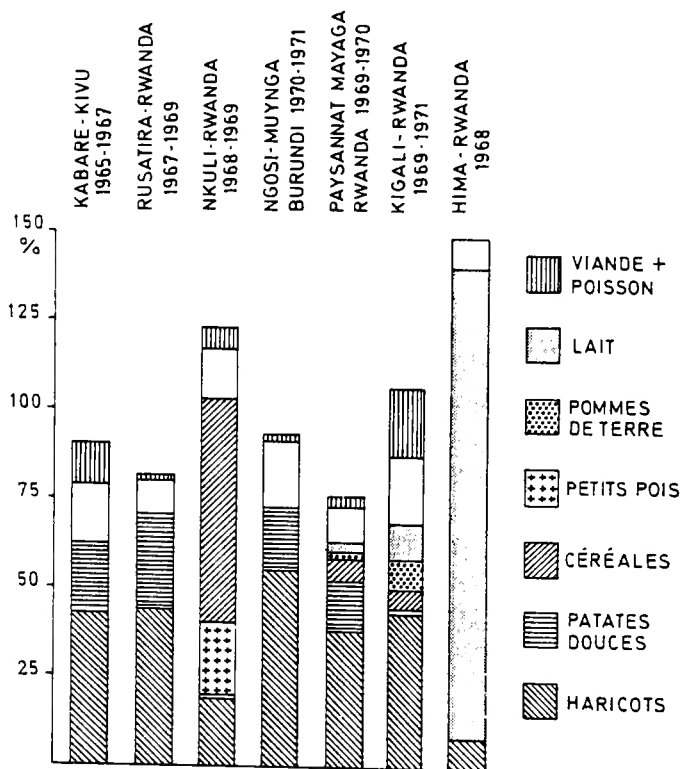


FIG. II.15. — Apports protéiques dans plusieurs régions d'Afrique centrale interlacustre. Apports protéiques par tête d'habitant et par jour exprimés en pour cent des besoins théoriques tels que définis par le Comité mixte d'experts F.A.O.-O.M.S. (1965). Toutes les protéines alimentaires ont été ramenées à un taux de «protéine de référence». Source: VIS *et al.* (1975a).

Une des caractéristiques fondamentales des régimes alimentaires de haute et de moyenne altitudes est la faible teneur en graisses. Les chiffres atteignent au maximum 4,5% de l'apport énergétique total en basse altitude et 9,0% en haute altitude.

Le modèle élaboré pour le Kivu est basé sur le seul module de moyenne altitude. Quant aux autres différences, on notera, en premier lieu, que la zone considérée comme peu habitée et susceptible de jouer le rôle de zone d'accueil pour la population émigrante des zones surpeuplées est proportionnellement beaucoup moins étendue qu'au Kivu et aussi beaucoup plus peuplée et nettement moins fertile.

GOUROU (1953) relève, en effet, qu'en 1953, 37% de la superficie totale du pays, soit environ 9620 km<sup>2</sup> (dont 2500 occupés par le Parc National de l'Akagera) constituent la zone peu peuplée. Celle-ci supporte cependant 9% de la population soit *grosso modo* 350 000 habitants. La densité, Parc National exclu, s'établit ainsi à environ 50 hab./km<sup>2</sup>, ce qui limite sérieusement la possibilité d'accueil.

Reposant sur les quartzites, schistes et arkoses du Burundien, cette zone comporte une proportion importante de sols incultivables (xérokaolisols et sols cuirassés) ou difficilement cultivables (sols hydromorphes et histosols), le restant étant formé de kaolisols humifères, de valeur moyenne.

Enfin, le climat est nettement moins favorable que celui des zones d'immigration envisagées pour le Kivu montagneux. La pluviosité est partout inférieure à 1000 mm/an (783 à Gabiro, 853 à Karama, 988 à Kibungu, etc.). La saison sèche dure 115 à 120 jours. La double culture annuelle est moins aisée sauf recours à l'irrigation.

C'est donc avec beaucoup de réserve que nous présentons les simulations comportant, par analogie avec le Kivu, une politique de migration vers les zones peu peuplées.

Autre différence fondamentale, le Kivu montagneux dispose, sur les territoires zaïrois voisins, de vastes zones accessibles au trop plein de ses populations (notamment à l'ouest des Mitumba), tandis que le Rwanda est enfermé dans ses frontières nationales. Enfin, il faut relever que, au Kivu, nous avons limité la zone «G» (terres fertiles) aux très bons sols dérivés des roches volcaniques récentes (basalte et cendrées volcaniques) alors qu'au Rwanda l'extension de ces formations se limite à une portion de la préfecture de Cyangugu (basalte) et des préfectures de Gisenyi et de Ruhengeri (cendrées). Au total, les sols volcaniques représentent moins de 20% de la superficie que nous avons considérée comme zone fertile et surpeuplée. Le restant est constitué surtout de kaolisols humifères assez analogues aux sols de la zone «L» du Kivu, avec pas mal de crêtes granitiques peu fertiles. A l'avantage du Rwanda, on notera, d'autre part, que l'agriculture y a pris conscience de l'opportunité de la protection des terres contre l'érosion, que l'usage de la fumure animale y est plus habituel; qu'un cheptel plus important et peut-être mieux réparti facilite la production et l'emploi du fumier. Relevons à ce propos que, vu l'importance beaucoup plus grande des spéculations animales, le modèle, pour le Rwanda, devrait intégrer les aspects zootechniques.

Enfin la culture d'exportation, notamment celle du café arabica, est très répandue; il en résulte l'amorce d'une évolution économique susceptible de rompre la situation d'auto-consommation qui prévaut au Kivu. En fait, le Rwanda dépasse déjà le stade de l'agriculture de subsistance intégrale et certaines variables nouvelles devraient, en conséquence, être introduites dans le modèle. Compte tenu de toutes ces réserves, nous montrons toutefois ci-après quelles perspectives laisse entrevoir le modèle Kivu appliqué au Rwanda.

### II.5.2. Simulations

#### Simulation n° 1.

Comme pour le Kivu, nous considérons ici que le Rwanda constitue une seule grande région homogène. Au Kivu, cette hypothèse semblait conduire à des résultats trop optimistes. Ce ne serait pas le cas au Rwanda. La figure II.16.1 montre l'évolution de la population et de sa situation nutritionnelle. Nous observons la même détérioration soudaine et progressivement

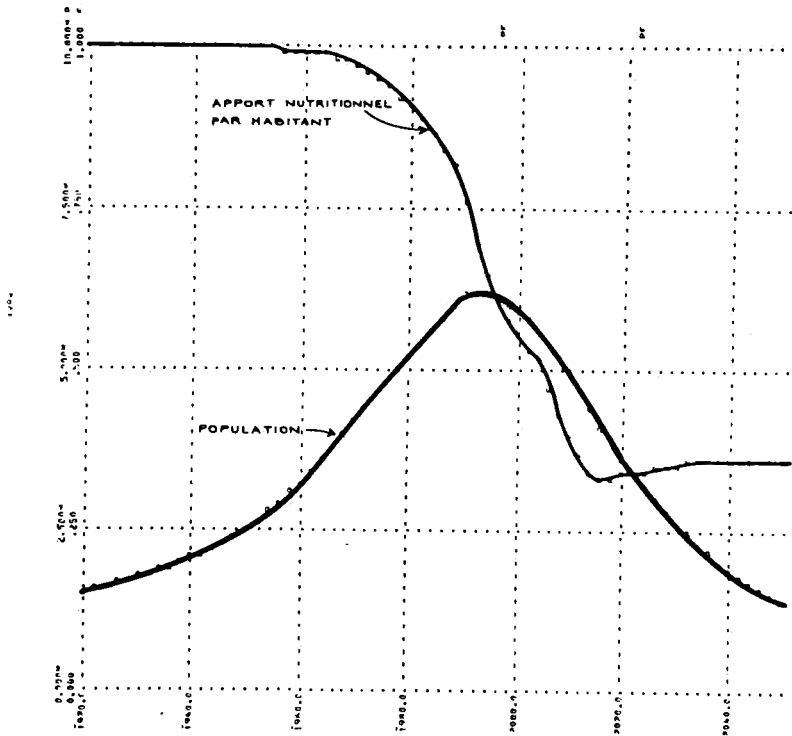


FIG. II.16.1. — RWANDA: Simulation n° 1. Région supposée homogène.  
NUTRITION — POPULATION.

accélérée mais, pour le Rwanda, la menace semble concerner l'avenir immédiat. En 1960, la population accuse une croissance rapide et la situation nutritionnelle est encore au niveau de la norme initiale. C'est à ce moment que s'amorce une lente détérioration mais, même en 1980, cette détérioration est peu perceptible: la population continue à croître comme auparavant mais la nutrition s'établit à 90% de la norme. Moins de 10 ans plus tard, les conditions ont changé de manière dramatique: la nutrition est tombée à 75% ou moins de sa valeur initiale et, en conséquence, l'accroissement démographique est arrêté. Après une nouvelle décennie, en 2000, la nourriture est devenue rare, les ressources nutritionnelles sont de moitié inférieures aux disponibilités antérieures et la population a commencé à décliner de son maximum de 6 000 000 à 5 600 000 habitants. Il ne faut pas, bien entendu, donner à ces chiffres une valeur rigoureuse mais plutôt considérer les valeurs relatives. Le déclin se poursuit pendant 10 ou 15 ans, aussi longtemps que la nutrition le permet et ne s'arrête guère avant 2050, en ce qui concerne la population. Bien sûr, nul ne peut prévoir ce qui arrivera, en fait, dans des circonstances aussi désastreuses.

La figure II.16.2 montre la nutrition en regard cette fois avec la mortalité et la natalité. Elle accentue la brutalité du changement qui se produit aux

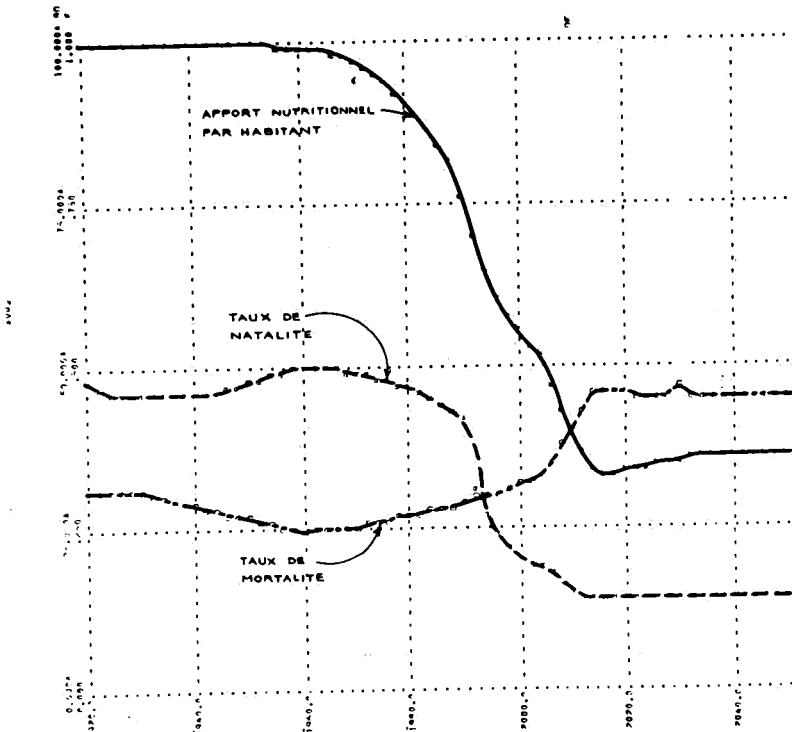


FIG. II.16.2. — RWANDA: Simulation n° 1. Région supposée homogène.  
NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ.

environs de 1990: dans la seconde moitié de la période 1960-1980, s'installe un léger déclin du taux de natalité accompagné d'une faible hausse du taux de mortalité. Ensuite, soudainement, quelques années plus tard, la natalité tombe en 6 ans de 42‰ à 25‰.

Si les événements se produisent comme l'indique le modèle, ils ne peuvent manquer de constituer un désastre ou, tout au moins, un traumatisme social quand bien même la mortalité n'augmenterait que plus lentement et plus tardivement.

La figure II.16.3 montre que la fraction cultivée des terres arables s'établit à 50% en 1970 pour atteindre 100% 20 ans plus tard. C'est en cette brutalité que réside le caractère vicieux de la situation. Immédiatement avant la catastrophe, tout semble encore bien se passer: il y a des terres disponibles, la population croît; il y a encore assez de nourriture et la dégradation du sol n'est pas alarmante. On remarquera aussi le déclin rapide de la production; celle-ci tombe de 100% en 1960 à 75% en 1980, à 50% en 1990 et à 45% en 2000. La chute de productivité de 50% entre 1960 et 1990 a été compensée par le plus que doublement de la superficie, mais, comme entre-temps la population a plus que doublé, le résultat net est une chute grave de l'apport nutritionnel.

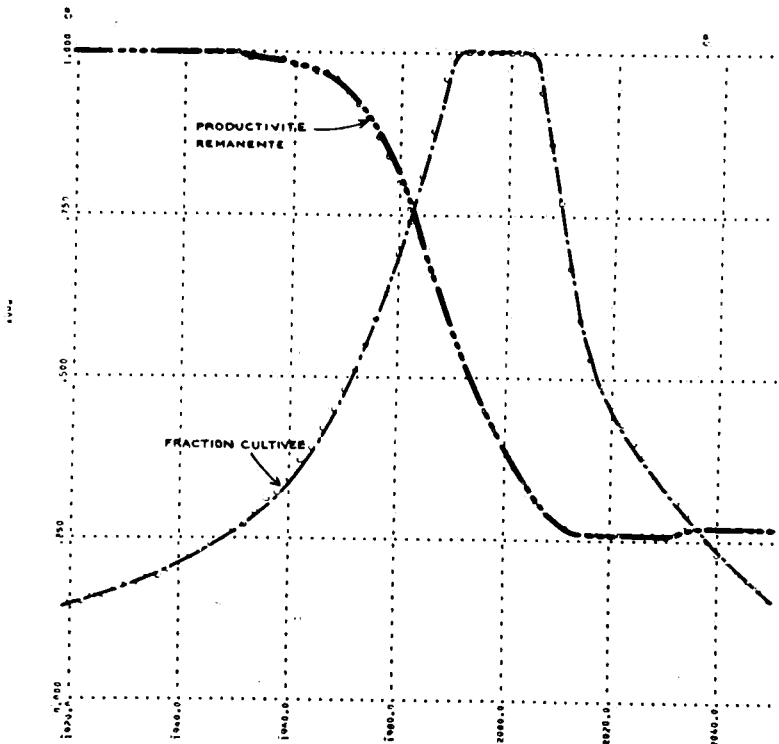


FIG. II.16.3. — RWANDA: Simulation n° 1. Région supposée homogène.  
FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

Le scénario présenté par cette première simulation nous indique que la simulation est beaucoup plus précaire qu'au Kivu parce que le Rwanda n'a guère de réserves de terres. On peut certes espérer que ces conclusions sont par trop pessimistes, mais, malheureusement, il faut bien constater qu'elles sont en complète conformité avec celles de LEMARCHAND (1969) et de PRÉFOL & DELEPIERRE (1973).

### Simulation n° 2.

Cette simulation, ainsi que la suivante, ont été établies au départ du modèle qui considère deux zones de fertilité différente. Nous verrons que, dans le cas du Rwanda, cette subdivision du pays en deux zones ne conduit pratiquement à aucune différence. La raison en est que les deux zones sont d'étendue quasi égale et que les densités de population ne présentent pas de différences très accusées.

Dans la simulation n° 2, on a constaté qu'aucune politique nouvelle n'était mise en œuvre. La figure II.17.1 montre l'évolution de la population dans les deux zones, les apports nutritionnels par habitant et la variable «émigration». Nous avons introduit ici, en plus de la migration des jeunes

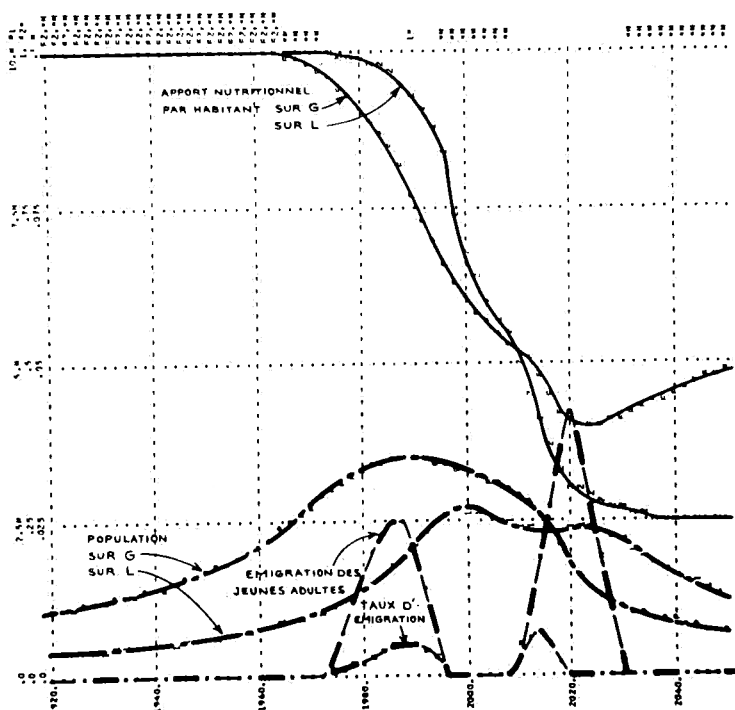


FIG. II.17.1. — RWANDA: Simulation n° 2. Migration spontanée. NUTRITION — POPULATION — MIGRATION.

adultes, celle des groupes entiers de population en quête de nourriture. Comme dans la première simulation établie pour le Rwanda, nous voyons qu'il ne se passe que peu de choses avant 1980, après quoi la situation nutritionnelle en zone G se détériore rapidement et tombe, en 2000 à 60% de la norme, pour atteindre 40% en 2020.

Le même processus, mais plus accentué, se présente en zone L, avec un léger décalage de quelque 10 ans. La population en zone G atteint son maximum peu après 1980. La migration des jeunes adultes et des familles affamées se produit pendant une courte période aux environs de 1980 mais s'arrête bien vite parce que tout espace resté vacant en zone L est rapidement occupé. Aussi, quelque 20 ans plus tard, en 2000, la population dans la zone moins fertile L a cessé de croître. Peu après s'amorce un déclin de la population totale. Celle-ci a atteint un maximum de 5 500 000 habitants (le modèle, comme pour le Kivu, ne considère que la migration de la zone G vers la zone L mais nous remarquons qu'ici les résultats indiquent une brève période de reprise de la migration autour de 2020). Ceci signifie que certains sols de zone L deviennent disponibles à nouveau. Cette migration concerne environ 4% de la population de la zone G (ce résultat n'est probablement pas réaliste).

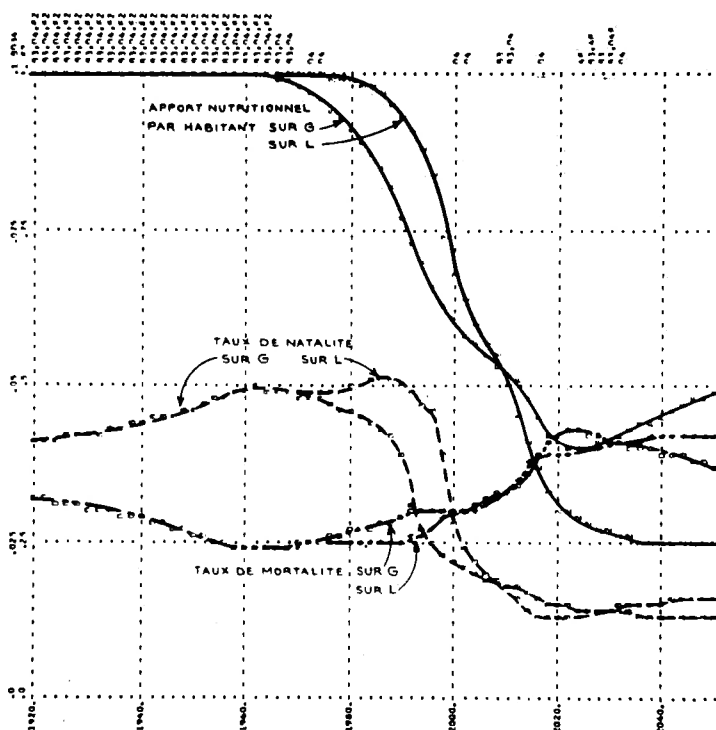


FIG. II.17.2. — RWANDA: Simulation n° 2. Migration spontanée.  
NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ.



La seconde figure (fig. II.17.2) montre le développement de la natalité et de la mortalité. Le déclin accentué des taux de natalité en zone G et en zone L, que nous avons déjà observé pour le Kivu, se produit entre 1990 et 2000. Le taux de mortalité augmente simultanément mais un peu moins vite et légèrement plus tard, soit entre 2000 et 2020. A ce moment, le taux de natalité tombe plus bas encore pour atteindre des valeurs très réduites.

Les variables agronomiques apparaissent à la figure II.17.3. La zone G est rapidement saturée (entre 1970 et 1990). Les sols de zone L qui, dans les années 70, semblaient encore de vastes réserves, doivent donner asile à toute la population et se trouvent entièrement occupés vers 1995. La productivité rémanente décline aussi rapidement sur les deux types de sol. En l'an 2000, elle se réduit à 40% de la norme. La désertification conduit à la dépopulation du pays quelque 20 ans plus tard.

En gros, ce scénario ne diffère pas de manière significative de celui de la première simulation.

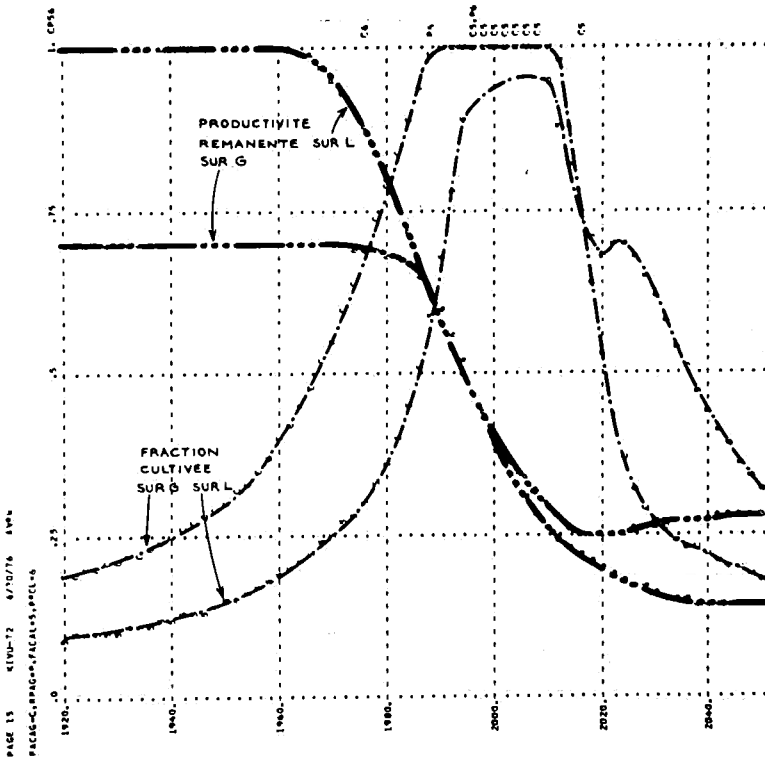


FIG. II.17.3. — RWANDA: Simulation n° 2. Migration spontanée. FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

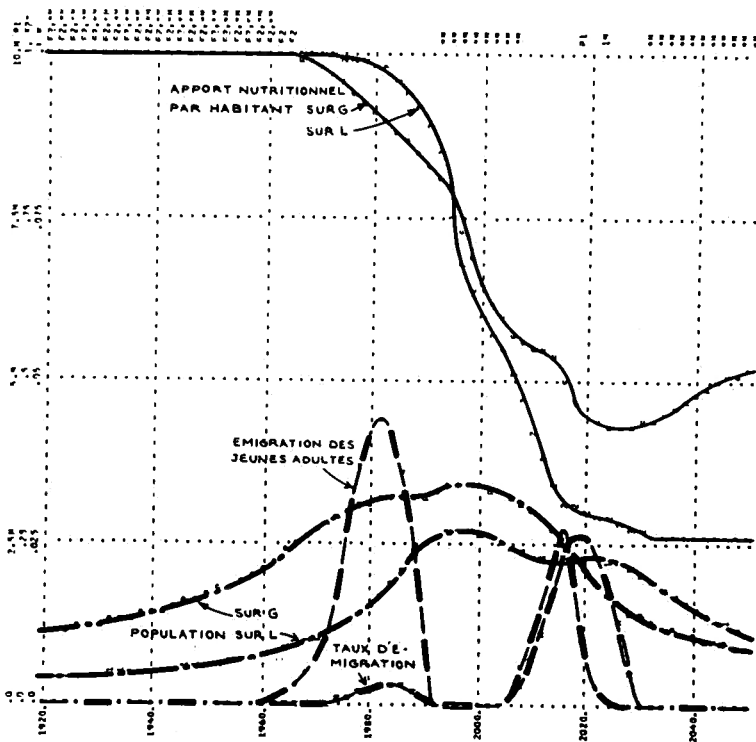


FIG. II.18.1. — RWANDA: Simulation n° 3. Migration spontanée.  
NUTRITION — POPULATION — MIGRATION.

### Simulation n° 3.

Dans cette simulation et les suivantes, nous étudierons les conséquences de politiques de simulation de la migration et de contrôle de l'érosion<sup>(2)</sup>.

Dans un premier scénario, on stimule la migration de la zone G vers la zone L. Ainsi qu'il fallait s'y attendre, vu la faible étendue des réserves de terre en zone L, l'effet de cette politique est pratiquement nul. Nous donnons donc sans plus de commentaires les résultats de cette simulation n° 3 tels qu'ils apparaissent aux figures II.18.1, II.18.2 et II.18.3.

<sup>(2)</sup> Il ne s'agit pas ici d'innovations, mais d'extension et de renforcement de politiques antérieures.

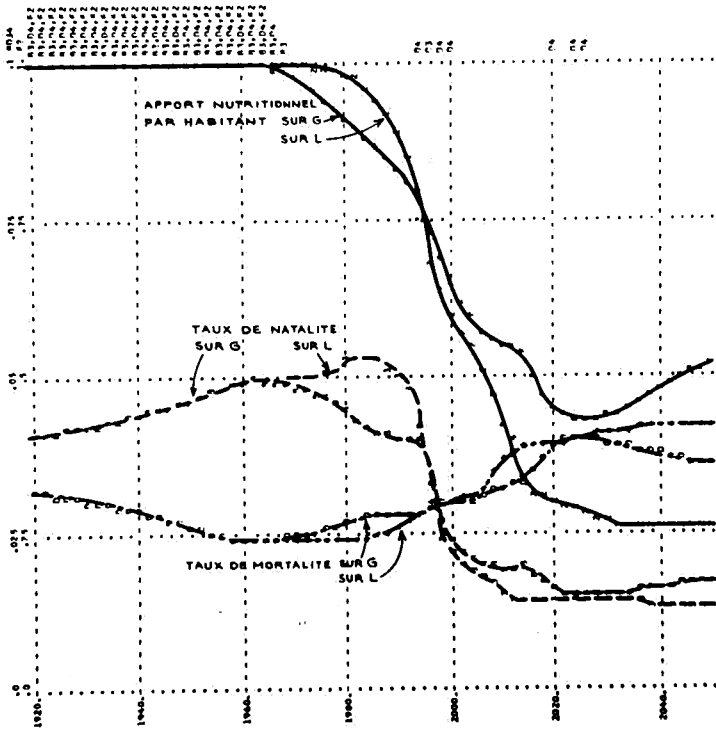


FIG. 1118.2. — RWANDA: Simulation n° 3. Migration spontanée.  
 NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ.

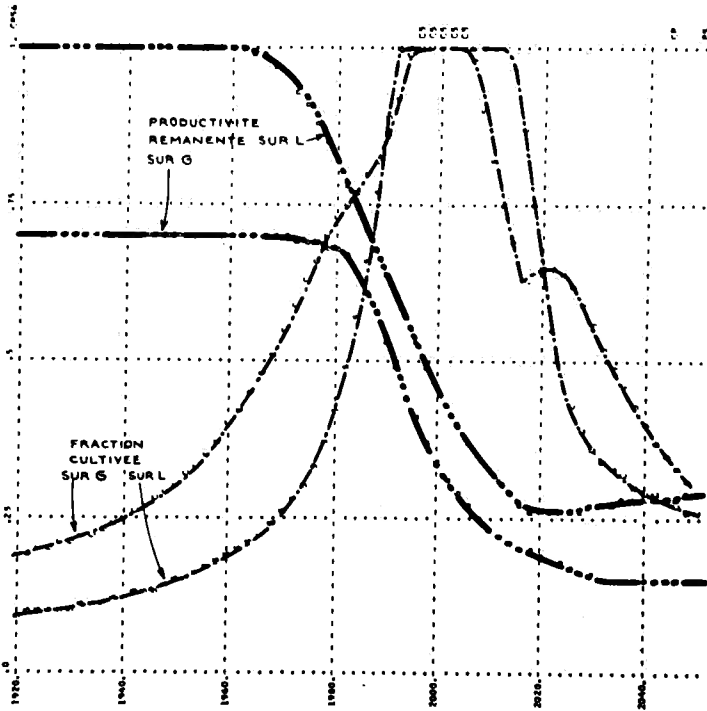


FIG. II.18.3. — RWANDA: Simulation n° 3. Migration spontanée.  
 FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

## Simulation n° 4.

Le scénario comporte ici un programme de prévention de l'érosion appliqué aux sols de la zone G et démarré en 1980. Sa réalisation complète est supposée prendre 30 ans.

La figure II. 19.1 indique le même type d'évolution que précédemment et montre que le programme de prévention de l'érosion ne produit ses effets que quelque 20 ans après son démarrage. En comparaison avec les scénarios précédents, nous obtenons ici une amélioration en ce qui concerne la population sur les sols de zone G après l'an 2000. Cette population n'émigre plus et, en conséquence, son déclin est beaucoup moins rapide. En zone L, par contre, l'érosion continue sans rémission entraînant une dégradation toujours plus grave.

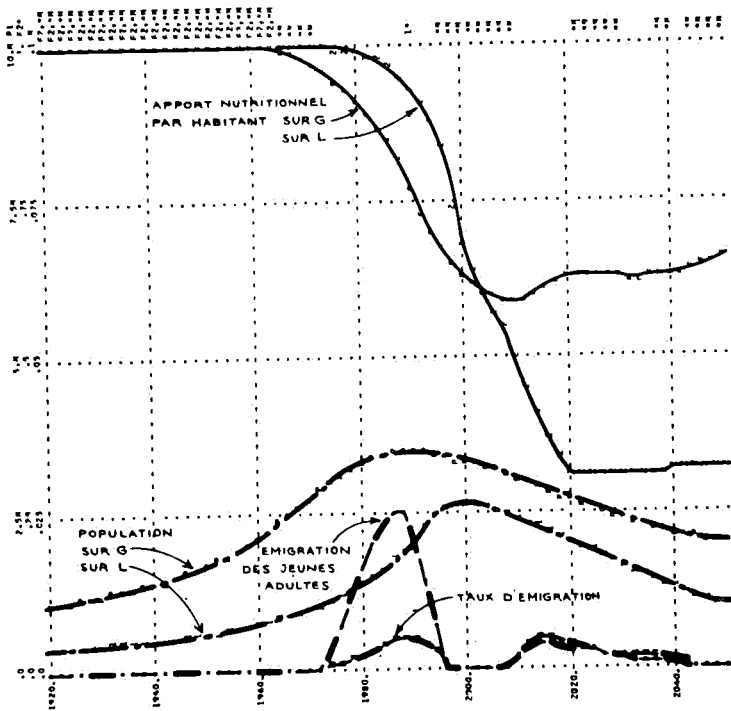


FIG. II. 19.1. — RWANDA: Simulation n° 4.  
Migration spontanée et contrôle de l'érosion en zone G.  
NUTRITION — POPULATION — MIGRATION.

La figure II.19.2, par les taux de natalité et de mortalité, confirme le commentaire ci-dessus. Vers l'an 2000, les conditions en zone G se stabilisent à un niveau bas mais supérieur toutefois à ce qui était obtenu sans programme de prévention de l'érosion. Cette amélioration relative peut être observée en comparant les valeurs des variables en zone G, d'une part, et en zone L, d'autre part.

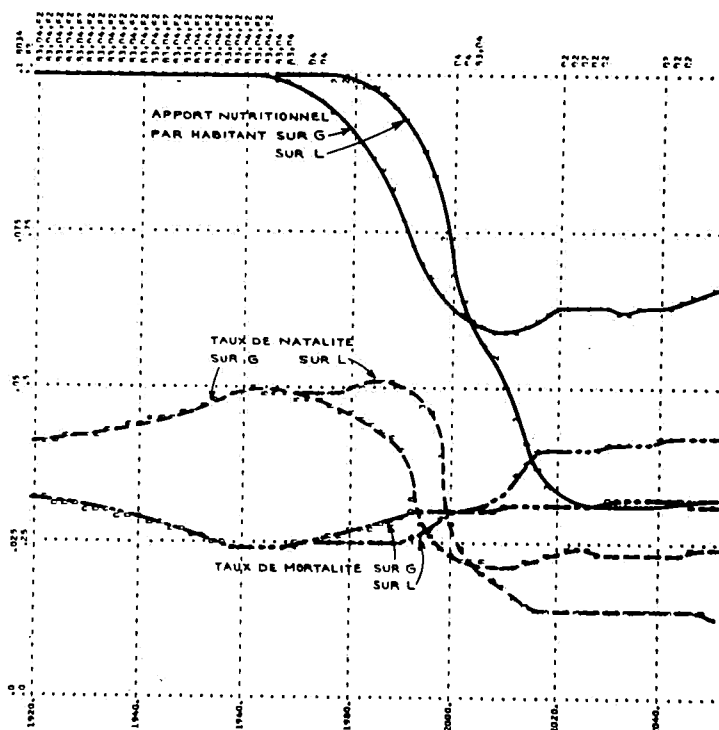


FIG. II.19.2. — RWANDA: Simulation n° 4.  
Migration spontanée et contrôle de l'érosion en zone G.  
NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ.

La dernière figure de cette simulation (fig. II. 19.3) est intéressante en ce sens qu'elle montre combien modeste est le bénéfice engendré par le programme de prévention de l'érosion. La productivité relative se stabilise à 32% de la norme au lieu de s'affaïssir jusque 26% comme dans le scénario standard. Ceci devrait faire saisir toute l'importance d'un déclenchement aussi précoce que possible du programme et de son exécution complète en un minimum de temps.

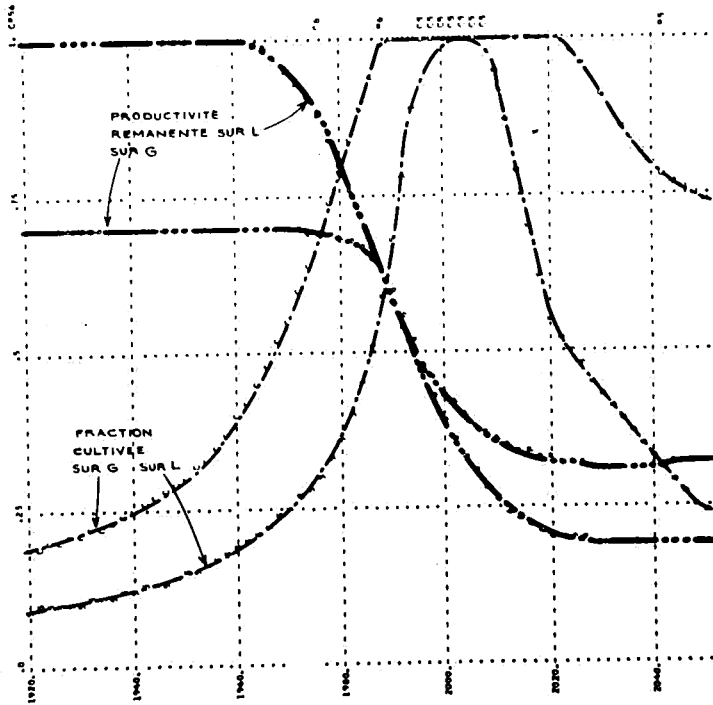


FIG. II. 19.3. — RWANDA: Simulation n° 4.  
Migration spontanée et contrôle de l'érosion en zone G.  
FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

Simulation n° 5.

Ici, on considère l'application du programme de prévention de l'érosion dans les deux zones, combinée avec une émigration stimulée de zone G vers zone L. La figure II.20.1 montre, par comparaison avec la simulation standard (simulation n° 2, fig. II.17.1), une amélioration de la situation nutritionnelle. Ceci est surtout vrai en zone G en raison de la politique de migration dont l'efficacité dans le cas du Rwanda est plus négative que positive. Et pourtant, à partir de l'an 2000, dans ce scénario également, la population décroît, indiquant une forte surpopulation.

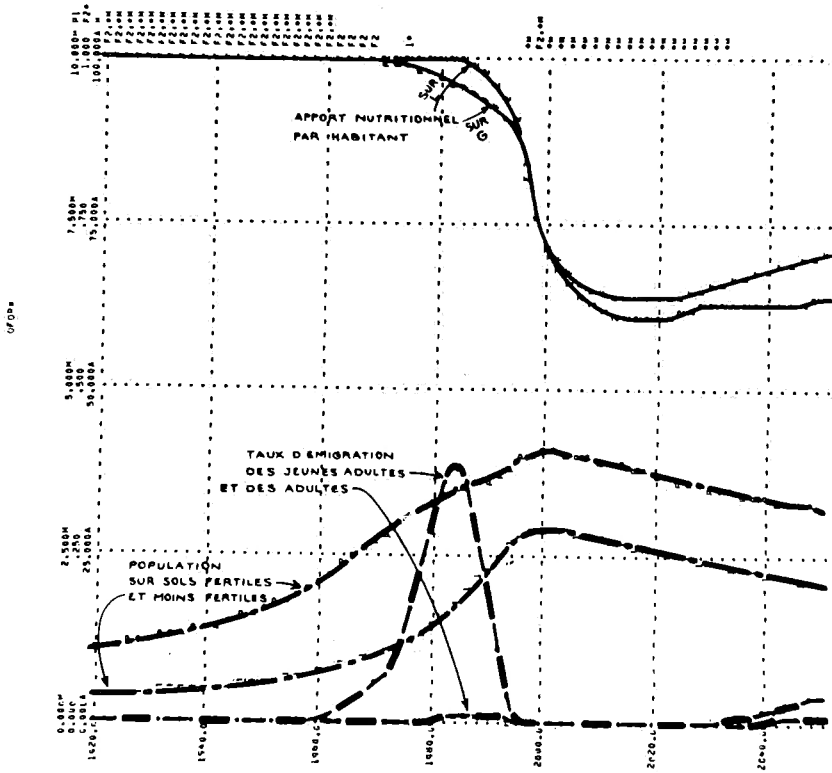


FIG. II.20.1. — RWANDA: Simulation n° 5.  
Migration stimulée et contrôle de l'érosion en zone G et en zone L.  
NUTRITION — POPULATION — MIGRATION.



La figure suivante (fig. II.20.2) montre que la baisse de la natalité, à présent bien connue, se produit à nouveau aux environs de l'an 2000 mais qu'elle ne s'accroît pas au-delà. Nous trouvons ici encore que les conditions dans la zone moins fertile (zone L) sont plus mauvaises que dans la zone G.

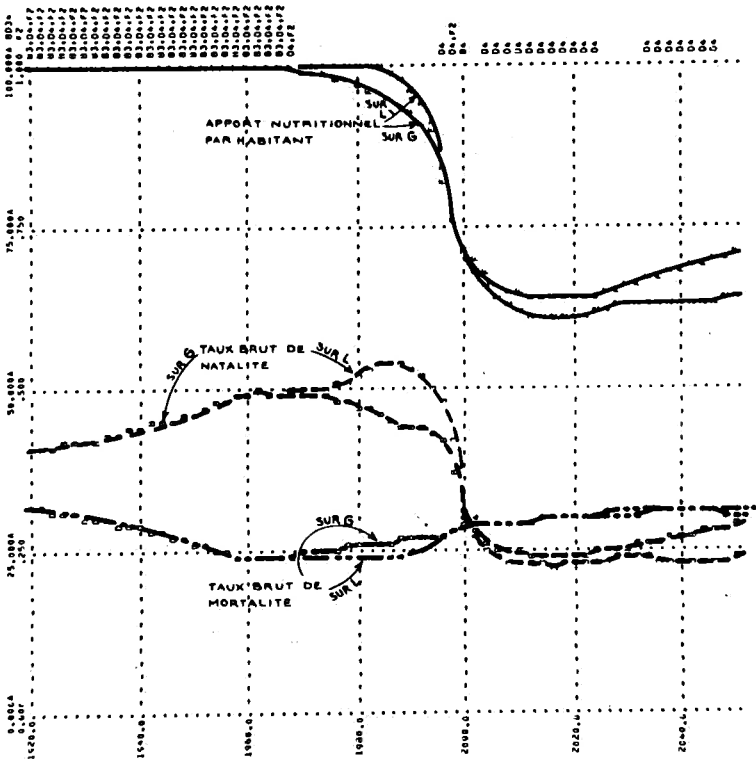


FIG. II.20.2. — RWANDA: Simulation n° 5.  
Migration stimulée et contrôle de l'érosion en zone G et en zone L.  
NUTRITION — NATALITÉ — MORTALITÉ.

La dernière figure (fig. II.20.3) montre, par le développement de la fraction cultivée des sols disponibles que, quoi qu'on fasse, toute la surface arable du Rwanda sera cultivée en permanence à partir du milieu de la dernière décennie du siècle. La détérioration des sols deviendra très sérieuse dans les 20 prochaines années et un programme de prévention de l'érosion aura plus pour effet de minimiser des pertes que d'apporter un bénéfice.

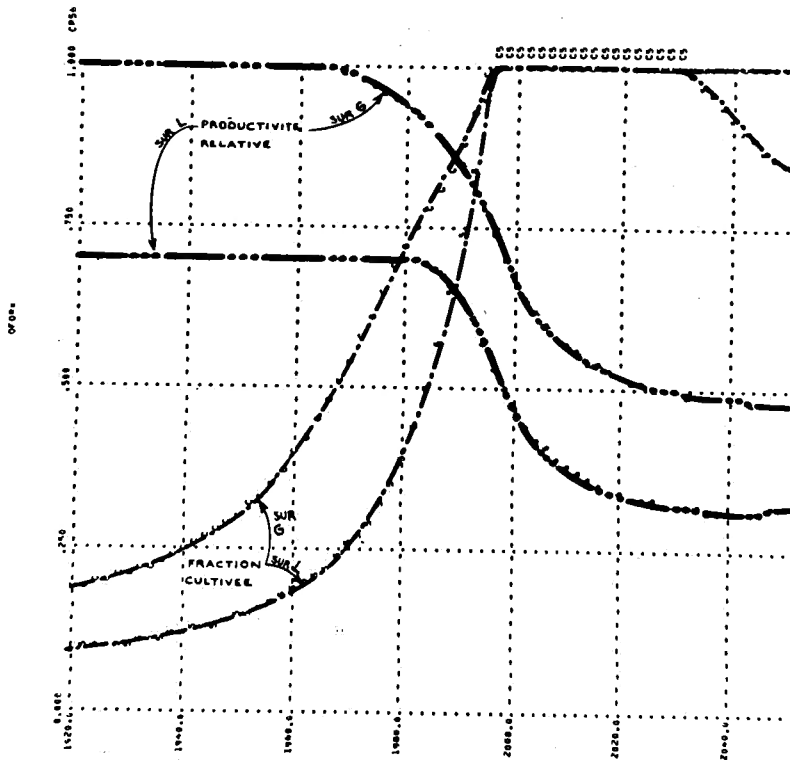


FIG. II.20.3. — RWANDA: Simulation n° 5.  
Migration stimulée et contrôle de l'érosion en zone G et en zone L.  
FRACTION CULTIVÉE ET PRODUCTIVITÉ DES SOLS.

### II.5.3. Conclusions

Nous voyons, par ces quelques simulations mathématiques que, dans le cas du Rwanda, les conclusions sont toujours pratiquement aussi pessimistes. Elles présentent de graves problèmes au cours des 20 prochaines années.

D'autres études étaient ces pronostics. LEMARCHAND (1969), bien qu'utilisant des données optimistes, calculait que, déjà à cette époque, il y avait un déficit protéique de 10 à 20%. En effet, il était produit en 1968 quelque 60 000 t de protéines, les besoins étant de 75 000 t. Une enquête alimentaire de 1966-1970 par VIS *et al.* (1972) confirme cette conclusion. LEMARCHAND admet un potentiel de production de protéines animales de 36 000 t (soit 15 fois la production de 1968) mais il est moins optimiste en ce qui concerne la production de protéines végétales. Celle-ci, avec la productivité rémanente actuelle et l'utilisation complète des terres pourrait atteindre 100 000 t

environ<sup>(3)</sup>. Ce chiffre se ramènerait à 75 000 t en maintenant les jachères dans le rapport de 1 à 3. La production maximale possible serait dès lors de 136 000 t (ou 110 000 t en maintenant la jachère). Ceci suffirait pour une population de plus ou moins 6 millions (ou 5 millions). Considérant le chiffre actuel de la population (4 millions), ces données optimistes conduisent à la saturation en 10 ou 15 ans.

PRÉFOL & DELEPIERRE (1973) estiment à 1 275 000 le nombre maximum de rugos (d'une superficie moyenne de 110 ares pour 4,45 habitants) que peut contenir le Rwanda. Ceci correspond à la population totale de 5 700 000 habitants environ qui sera atteinte peu avant 1990, selon nos projections démographiques. A partir de ce moment, les brèves périodes de jachère qui étaient encore maintenues devront être réduites, puis abandonnées, ce qui déclenchera une rapide détérioration des sols.

En tenant compte de l'incidence des variations locales de densité de la population et de qualité des sols, et considérant aussi le caractère optimiste des courtes périodes de jachère admises par PRÉFOL & DELEPIERRE, nous prévoyons que cette dégradation accélérée des sols se déclenchera plus tôt.

Étant donné le caractère fortement exponentiel de la croissance démographique, des différences dans l'estimation de la valeur quantitative des autres paramètres ne donnent que de faibles variations dans le résultat des simulations tel qu'exposé ci-avant.

Les conclusions sont donc extrêmement pessimistes d'autant plus qu'il n'est guère réaliste d'imaginer qu'à court ou moyen terme un grand développement industriel puisse modifier l'évolution prévue.

Même en admettant les hypothèses optimistes de PRÉFOL & DELEPIERRE, le moment où la totalité du Rwanda sera saturée n'est retardé que de 8 années par rapport aux résultats obtenus du modèle.

La recherche de solutions est ici beaucoup plus difficile qu'au Kivu et il est fort à craindre que — toutes choses restant égales — des 7 millions d'habitants prévus en 1995, 1½ million devront être ravitaillés par des vivres importés.

---

<sup>(3)</sup> LEMARCHAND (1969) calcule, en effet, que 650 000 ha seraient disponibles pour la culture, soit un rendement de 150 kg de protéines par ha.

## Annexe I

### Le langage Dynamo

Nous décrivons ici brièvement quelques caractéristiques essentielles du langage Dynamo qui faciliteront la lecture de l'annexe n° II. Une description plus complète de ce langage est faite par FORRESTER (1961, 1968) et PUGH (1974).

1. Ce langage véhicule un certain nombre de conventions qui permettent de visualiser les principales structures du modèle de façon plus fonctionnelle grâce au «Dynamo Flow Diagram» et d'en exprimer les relations sous forme d'équations mathématiques Dynamo que l'ordinateur peut traiter. Ce langage a été spécifiquement créé pour simuler les interactions dans les modèles de dynamique des systèmes. En ce sens son usage est préconisé mais d'autres langages pour ordinateurs peuvent parfaitement être utilisés dans le même but.

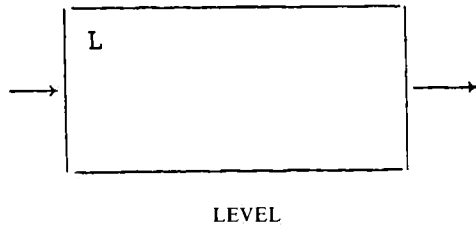
2. Le modèle évolue avec le temps. Le système d'équations contrôle les différentes variables et leurs interactions au fur et à mesure que le temps progresse. Les équations permettent donc de suivre les états successifs du système.

Nous envisageons trois points d'une échelle temporelle J, K, L. Par convention, le moment K désigne l'instant présent. J est le moment précédent pour lequel nous disposons d'informations. JK est l'intervalle entre les instants J et K. Au-delà du point K soit, par exemple, à l'instant L, nous sommes dans l'inconnu. C'est sur la base d'informations concernant le passé et le présent que nous envisageons le futur. La progression s'effectue par de petits intervalles de temps DT ou «Delta Time», suffisamment courts pour que chaque intervalle crée une continuité dans les valeurs des variables.

3. Dynamo distingue fondamentalement deux groupes d'équations dans le modèle: les niveaux (levels) et les taux (rates).

#### 3.1. Les équations de niveau

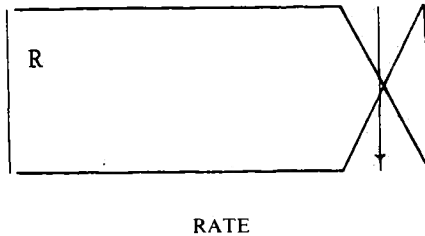
Les niveaux sont les réservoirs, les stocks, les états du système; ils continuent d'exister même lorsque cessent les interactions ou les flux: ils ont un caractère structurel (la population, les terres arables en sont des exemples). Leur représentation symbolique est le rectangle.



Les niveaux ne sont supposés changer qu'à un taux constant dans le courant d'un intervalle de temps  $DT$ . Ils ne sont calculés qu'à la fin de chaque intervalle. Les équations de niveau sont précédées de la lettre  $L$ . Exemple: pour calculer une population (POP) à l'instant présent (POP.K), on se base sur l'état précédent de la population (POP.J) augmenté du nombre de naissance (N) et diminué du nombre de décès (D) dans l'intervalle  $DT$ , c'est-à-dire du taux de changement.  $L \text{ POP.K} = \text{POP.J} + (DT)(N.JK - D.JK)$ .

### 3.2. Les équations de taux

Entre les niveaux circulent des flux (information, personnes, nourriture) qui les unissent et déterminent leurs changements. Les taux sont les vannes qui contrôlent l'évolution du système à tout moment; ils s'expriment en quantité par unité de temps. Ce sont les centres de décision consciente ou inconsciente. Leur représentation symbolique est une vanne ou un robinet placé sur un flux.

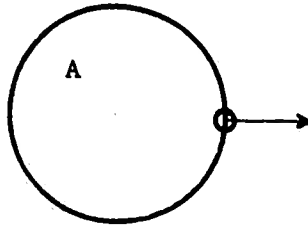


Les équations de taux dépendent en principe des valeurs d'un niveau au moment présent (K), ce qui explique qu'elles soient calculées après l'équation de niveau.

Les équations de taux sont précédées de la lettre  $R$ . Exemple: si nous reprenons la population (POP), le nombre de naissances (N) pour l'intervalle suivant,  $KL$  dépendra d'un pourcentage constant de femmes aptes à procréer (NFF) dans la population à l'instant présent (POP.K) et de l'intervalle moyen entre naissances que nous considérons constant (ABIG).

$$R \quad N.KL = \text{NFF} \times \text{POP.K} / \text{ABIG}.$$

4. En dehors de ces deux grands groupes d'équations, il existe des équations auxiliaires. En effet, si les équations de taux étaient les seules à déterminer les changements dans les niveaux, elles seraient extrêmement compliquées dans leur expression mathématique. Il est plus aisé de les séparer en différentes unités que l'on appelle auxiliaires et qui ont chacune une signification indépendante. Ceci permet de définir séparément les nombreux facteurs qui interviennent dans les équations principales. Leur représentation graphique est un cercle.



AUXILIARY

Comme les équations de taux, les auxiliaires sont calculées après les équations de niveau; leur valeur permet ensuite de calculer les équations de taux, puis celles des niveaux de l'étape DT suivante et le cycle recommence.

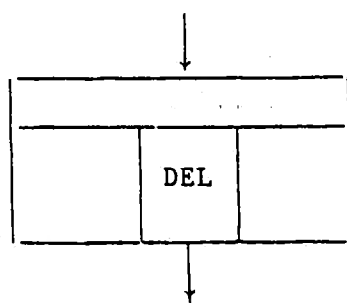
Les équations auxiliaires sont précédées de la lettre A. Exemple: nous avons vu que le nombre de naissances (N.KL) dépendait de la population (POP) à l'instant présent (POP.K), du pourcentage constant de femmes aptes à procréer (NFF) et de l'intervalle moyen entre les naissances (ABIG). Si ABIG devient variable, sa valeur au moment K (ABIG.K) se calculera par une auxiliaire A  $ABIG.K =$

5. Les délais sont un autre aspect important des systèmes de rétroaction. Dès qu'un flux circule, il engendre un délai; s'il est court, il est considéré comme négligeable (court en fonction de DT); s'il est long, il entraîne des conséquences importantes dans les interactions.

Un délai peut être défini comme un processus de changement qui intervient à partir d'un flux donné et le retransmet en un autre flux. L'output diffère à chaque instant de l'input selon la force du flux. Le délai s'approche de la notion de niveau car comme celui-ci, il accumule un flux.

Deux notions définissent le délai: le temps qu'il nécessite et la manière dont il modifie le flux, en lui donnant une allure soit linéaire, soit exponentielle.

Les délais sont représentés graphiquement par un rectangle séparé en 4 cases.



DELAY

Les équations de délai sont précédées d'une lettre A (auxiliaire).

6. Certaines fonctions mathématiques sont reprises par Dynamo. La «table fonction» permet de déterminer les valeurs numériques d'une variable dépendante en fonction d'une variable indépendante selon une échelle qui est spécifiée dans une première équation précédée de la lettre A; une deuxième précédée de la lettre T indique ensuite les valeurs de la variable dépendante.

*Exemple:* imaginons une variable dépendante, le délai de conception (CGD) à l'instant présent (CGD.K) qui évolue en fonction du temps (TIME)

$$A \quad CGD.K = TABHL (CGDT, TIME.K, 1920, 2020, 20)$$

$$T \quad CGDT = 2.7/2/1.3/1.3/1.3/1.3$$

L'équation A indique que la valeur de CGD à l'instant K est déterminée par une table donnant la valeur de CGD en fonction du temps. L'échelle de la table va de 1920 valeur minimale à 2020 valeur maximale, avec des unités d'accroissement de 20 ans.

L'équation T nous donne les valeurs du délai de conception CGD pour chaque point de notre échelle temporelle: 2.7 années en 1920, 2 ans en 1940, etc. Ces fonctions de table sont représentées graphiquement.

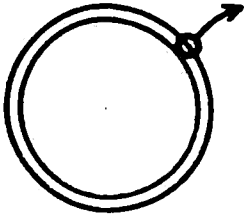
D'autres fonctions qui sélectionnent des valeurs particulières des variables existent en Dynamo.

CLIP permet de sélectionner une valeur p ou q selon les relations entre deux grandeurs R ou S.

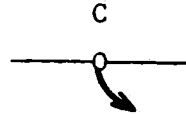
MAX ou MIN permettent de choisir l'une ou l'autre grandeur selon la plus petite ou la plus grande, au moment K.

D'autres fonctions sont trigonométriques, elles permettent de recourir à des nombres pris au hasard, etc.

7. Certaines variables sont exogènes au système: elles sont représentées graphiquement par un double cercle. D'autres variables sont constantes, elles sont figurées par une courte ligne droite; les équations de constantes sont précédées de la lettre C.



EXOGENE



CONSTANTE

Pour permettre de simuler l'évolution du système, il faut donner des valeurs initiales à tous les niveaux. Ces équations sont précédées de la lettre N.

Enfin les signes utilisés dans les équations sont les suivants, comparés aux signes usuels.

+  
-  
X  
:  
o,x

+  
-  
\*  
/  
.x





## Annexe II

### Description du modèle

#### 1. INTRODUCTION

Chacun des mécanismes d'interaction est analysé en détail ci-après. Les relations entre variables sont présentées sous la forme des «flow diagrams» décrits en Annexe I. Ces relations sont tout d'abord expliquées par un texte ou un graphique puis formulées en équations mathématiques simples. Les hypothèses sont explicitées et les valeurs justifiées.

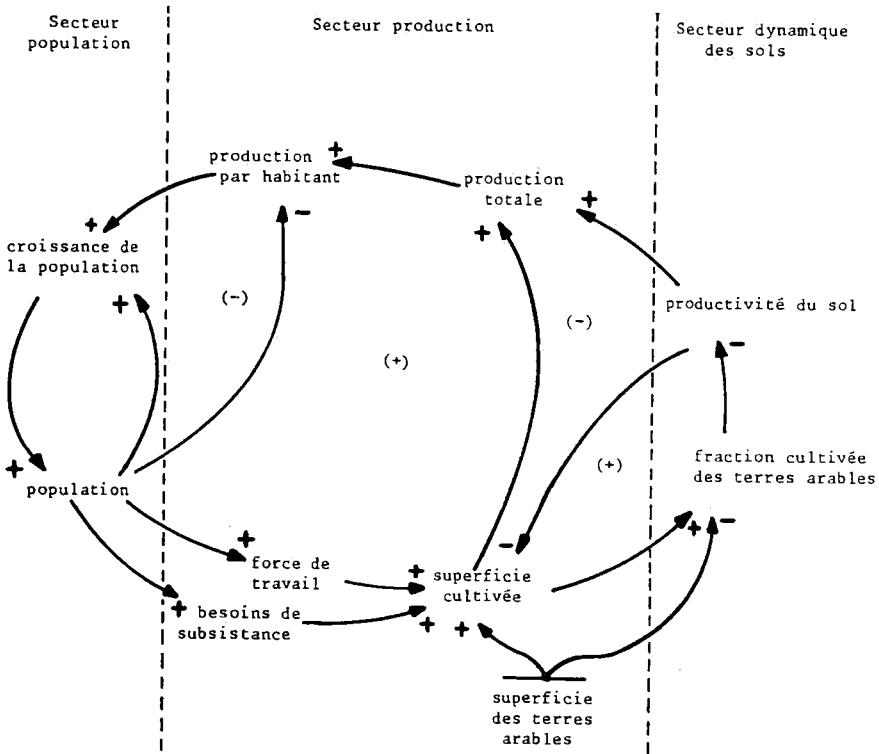


FIG. A.II.1. — Structure globale du modèle.

Nous commencerons par mettre en équations les structures élémentaires déjà exposées précédemment pour le cas d'une seule région homogène (fig. II.1, chap. II.2). A cette fin, pour la clarté de l'exposé, nous scindons le modèle global en trois sections: population, production et dynamique des sols (fig. A.II.1).

## 2. LE SECTEUR POPULATION

### 2.1. Relations causales entre Population et Nutrition

Une population se modifie essentiellement sous l'influence de trois facteurs: la natalité, la mortalité et la migration. En l'absence de migration, les interactions se présentent comme suit (fig. A.II.2):

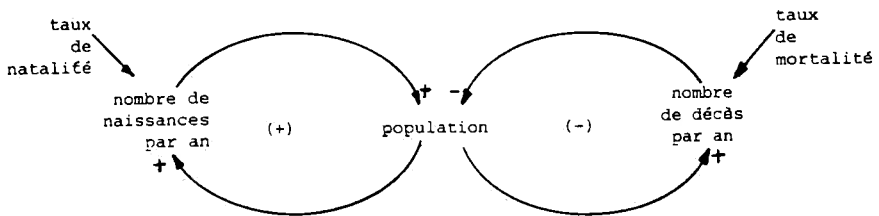


FIG. A.II.2.

Lorsque les naissances augmentent, la population augmente; ceci a pour effet d'accroître les naissances (la rétroaction est positive). Quand les décès augmentent, la population diminue; ceci fait ultérieurement diminuer le nombre de décès. Nous avons là une rétroaction négative.

Pour introduire dans ce schéma élémentaire les interrelations entre la population et ses ressources alimentaires, nous établissons le graphique de la figure A.II.3.

Ce dernier nous montre comment, en l'absence de toute contrainte de l'environnement, une population s'accroît annuellement par le nombre de naissances, lequel dépend à la fois de la fraction apte à procréer de la population féminine et de la durée de l'intervalle moyen entre les naissances.

Dans une population en régime de fécondité naturelle, l'une des composantes physiologiques les plus importantes des intervalles entre naissances est l'aménorrhée *post partum*, cette période de temps mort qui suit l'accouchement et durant laquelle la femme est inféconde. Du fait de l'allaitement du nourrisson, la durée de cette aménorrhée *post partum* est sous la dépendance de l'apport alimentaire reçu par la mère. Quand cet apport alimentaire diminue, la durée moyenne d'aménorrhée *post partum* chez les mères allaitantes diminue, ce qui a pour effet de raccourcir l'intervalle moyen entre les naissances.

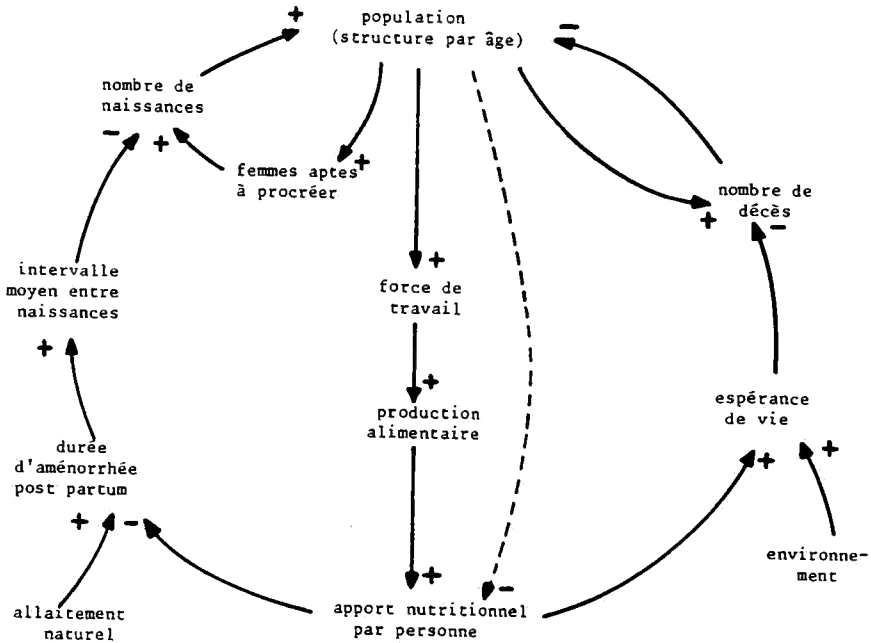


FIG. A.II.3. — Relations causales entre population et nutrition (en l'absence de contraintes de l'environnement).

L'apport alimentaire est déterminé par la production totale et la population. La production, en l'absence de contrainte, est une fonction de la force de travail de la communauté.

L'espérance de vie augmente en même temps que l'apport nutritionnel lorsque l'environnement reste inchangé. Quand l'espérance de vie augmente, le nombre des décès diminue.

## 2.2. Les classes d'âge

Ce modèle élémentaire de population permet de déterminer une évolution dans le temps mais il ne nous donne guère d'indications sur des variables aussi essentielles que le nombre d'enfants, le nombre de femmes d'âge  $x$ , etc. Dès lors, il peut être utile de désagréger la population en différentes classes d'âge.

La figure A.II.4 montre le flow diagram d'un modèle démographique dont la population est répartie en 4 groupes d'âge: 0 à 5 ans, 5 à 15 ans, 15 à 45 ans et plus de 45 ans. Cette répartition permettra de dégager la population adulte (15-45 ans), la classe de l'enfance (0 à 5 ans) touchée par une mortalité spécifique, le nombre de femmes aptes à procréer, la force de travail adulte, les jeunes susceptibles d'émigrer, etc.

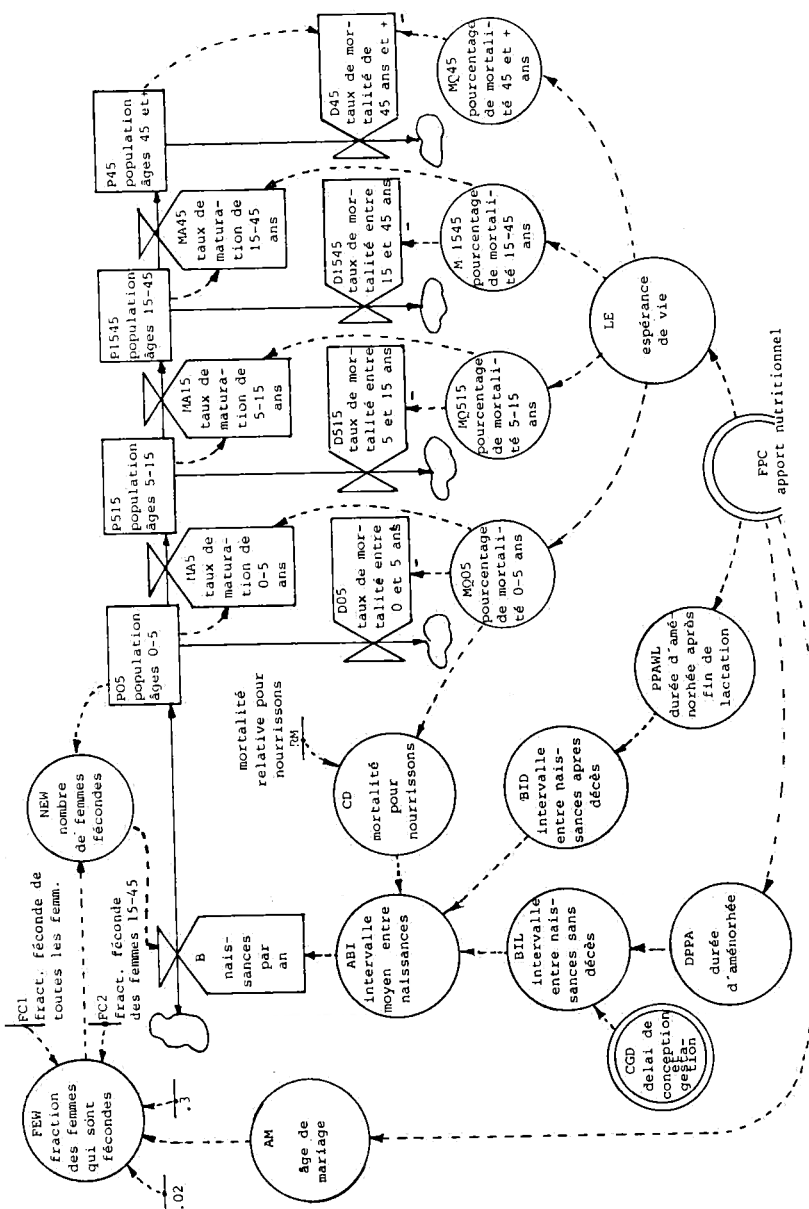


FIG. A.II.4. — Dynamo Flow Diagram: Population à 4 niveaux.

La population représentée à la figure A.II.4 croît comme la précédente par le nombre de naissances qui « entrent » dans la classe d'âge de 0 à 5 ans. Arrivés à l'âge de « maturation », à 5 ans, les survivants de cette classe d'âge passent à la classe d'âge suivante. Le nombre de passages, ou « maturations », est évidemment égal au nombre de naissances moins le nombre d'enfants décédés entre 0 et 5 ans. Ce lent vieillissement dure jusqu'à la dernière classe d'âge où seule la mortalité, pour les âges supérieurs à 45 ans, intervient encore. Les taux de mortalité sont spécifiques pour chaque classe d'âge; ils correspondent au niveau de l'espérance de vie.

Traitant des groupes d'âge, nous établirons d'abord les équations relatives à la population de la zone fertile, « G », telle que définie sub I. 1 et I.2 (pp. 30 et 31); toutes les variables se termineront par la lettre « G » (« Good Soils »). Les équations pour la population de la zone « L » seront bâties de la même façon et toutes les variables se termineront par la lettre « L » (« Less Good Soils »).

Les 4 classes d'âge sont P05G, P515G, P1545G, P45G.

Pour chaque classe, il y a des flux entrants et des flux sortants.

Pour la classe de 0 à 5 ans, il entre les naissances BG (« Births ») et il sort les décès D05G (« Deaths in between 0 and 5 ») et les passages à la classe suivante MA5G (« Maturation at 5 »), c'est-à-dire le nombre d'individus atteignant l'âge de 5 ans. Il en va de même pour chaque classe ultérieure qui a pour entrants les passages provenant de la classe précédente et pour sortants ses propres décès et ses passages à la classe suivante.

$$L \quad P05G.K - P05G.J + (DT)(BG.JK - D05G.JK - MA5G.JK)$$

$$L \quad P515G.K = P515G.J + (DT)(MA5G.JK - D515G.JK - MA15G.JK)$$

$$L \quad P1545G.K = P1545G.J + (DT)(MA15G.5K - D1545G.JK - MA45G.JK)$$

$$L \quad P45G.K = P45G.J + (DT)(MA45G.JK - D45G.JK)$$

Ces équations donnent la population de chaque classe, au moment K, calculée au départ de sa population au moment J précédent, l'écart entre J et K étant DT. Il convient donc de déterminer en premier lieu quelles sont les valeurs initiales pour la population et pour chacune des classes d'âge.

Notre échelle historique commençant en 1920, nous avons procédé comme suit: pour cette époque nous disposons des premiers recensements de l'administration belge qui permettent d'évaluer la population initiale en zone G (PIG « Population Initially on G ») à environ 500 000 personnes (Rapport annuel aux Chambres, 1921) et en zone L (PIL) à 250 000. Ces valeurs sont en accord avec celles que nous obtenons cinquante ans plus tard, en 1970.

On dispose de peu d'indications sur la distribution initiale de cette population en classes d'âges. A l'époque, les recensements signalaient seulement la répartition en hommes, femmes et enfants, ce qui permet d'estimer à 45‰ le niveau de natalité.

En évaluant le taux brut de mortalité à 30‰ (soit une espérance de vie à la naissance d'environ 33 ans), nous pouvons répartir la population initiale

en classes d'âge en la fractionnant suivant les normes d'une population stable, soit 16, 21, 43 et 20% respectivement pour chacune des 4 classes d'âge.

Les équations pour les populations initiales sur G deviennent dès lors:

$$\begin{aligned} C \quad PIG &= 500\,000 \\ N \quad P05G &= FP05*PIG \\ C \quad FP05 &= 0.16 \\ N \quad P515G &= FP515*PIG \\ C \quad FP515 &= 0.21 \\ N \quad P1545G &= FP1545*PIG \\ C \quad FP1545 &= 0.43 \\ N \quad P45G &= FP45*PIG \\ C \quad FP45 &= 0.20 \end{aligned}$$

### 2.3. La mortalité

#### 2.3.1. Calcul des taux spécifiques de mortalité en fonction de l'espérance de vie.

En l'absence de données sur le taux spécifique de mortalité propre à chaque classe d'âge en 1920, nous avons recouru aux tables-types en nous fondant sur le niveau global de la mortalité. Nous avons choisi comme indicateur de ce niveau, l'espérance de vie à la naissance LEG («Life Expectancy on G»). Les tables-types pour les pays en voie de développement ne sont pas nombreuses. Les premières ont été conçues en 1956 par le Service de population des Nations Unies.

Le fait qu'en Afrique Centrale le quotient de mortalité de 1 à 4 ans soit souvent supérieur au taux de mortalité infantile nous a fait préférer les tables-types de COALE & DEMENY (1966) qui proposent 4 familles (Nord, Sud, Est et Ouest) avec des relations différentes entre les mortalités aux différents âges et l'espérance de vie à la naissance. L'usage du modèle Nord pour l'Afrique est préconisé par de nombreux démographes (LORIMER *et al.* 1965, ROMANIUK 1967, CLAIRIN 1968, BLAYO 1967).

Les nombres de décès par classe d'âge sont le produit d'un taux spécifique de mortalité MO05G, MO515G, MO30G, MO45G<sup>(1)</sup> et du nombre de personnes dans la classe d'âge considérée.

Les taux spécifiques de mortalité par classe d'âge dépendent directement du niveau de l'espérance de vie que nous ferons varier de 15 à 50 ans (fig. A.II.5).

Nous les avons calculés au départ des tables de survie de COALE & DEMENY. Pour simplifier, nous avons supposé que les mortalités se produisent à chaque niveau selon un processus de réduction exponentielle simple à taux

(<sup>1</sup>) Pour des raisons techniques, nous écrivons MO30G en lieu et place de MO1545G.

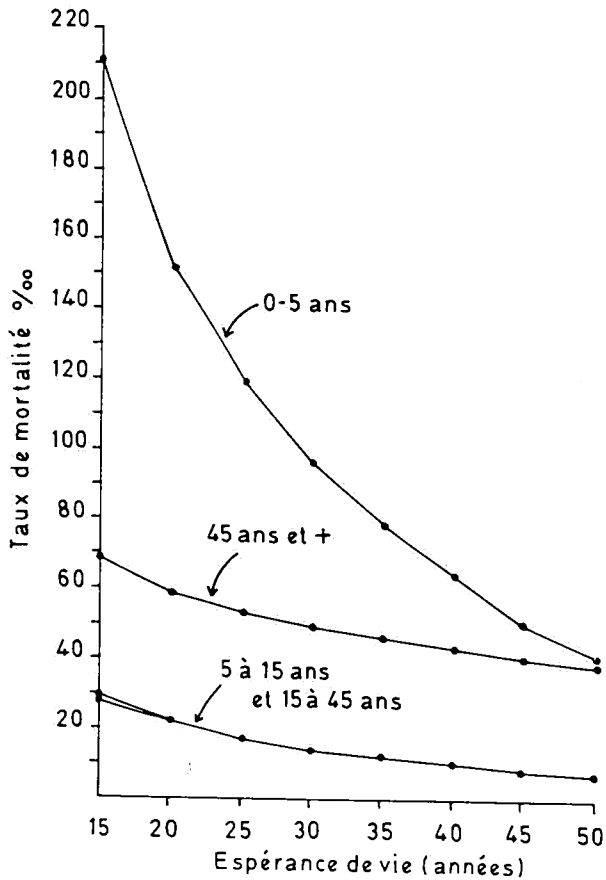


FIG. A.II.5. — Taux spécifiques de mortalité (‰) selon l'espérance de vie à la naissance (années).

constant. Ainsi, si  $l_+$  représente les survivants au moment  $t$  et  $M$  la mortalité, nous obtenons:

$$l_{t_1} = l_{t_2} e^{-M(t_2 - t_1)}$$

Par exemple, étant donné une espérance de vie spécifique, les nombres de survivants d'une cohorte initiale de 1 000 000 aux âges 15 et 45 sont connus de telle sorte que la mortalité moyenne  $MO_{1545G}$  pour la classe d'âge de 15 à 45 peut être calculée.

Pour la classe d'âge supérieure à 45 ans, nous avons utilisé l'inverse de l'espérance de vie conditionnelle à 45 ans comme mortalité moyenne.

Les tables de COALE & DEMENY ne couvrent que les espérances de vie supérieures à 25, aussi avons-nous dû extrapoler les mortalités entre 20 et 25. Nous avons interpolé linéairement entre 20 et 25 après avoir extrapolé à 20



en admettant que les mortalités spécifiques par âge varient comme l'inverse de l'espérance de vie. Désignant par  $m_{20}$ ,  $m_{25}$  et  $m_{30}$  les mortalités à 20, 25 et 30, nous obtenons:

$$\frac{m_{25} - m_{20}}{m_{30} - m_{25}} = \frac{(1/25) - (1/20)}{(1/30) - (1/25)} = \frac{3}{2}$$

ce qui, pour  $m_{20}$ , donne:

$$m_{20} = m_{25} + (3/2)(m_{25} - m_{30})$$

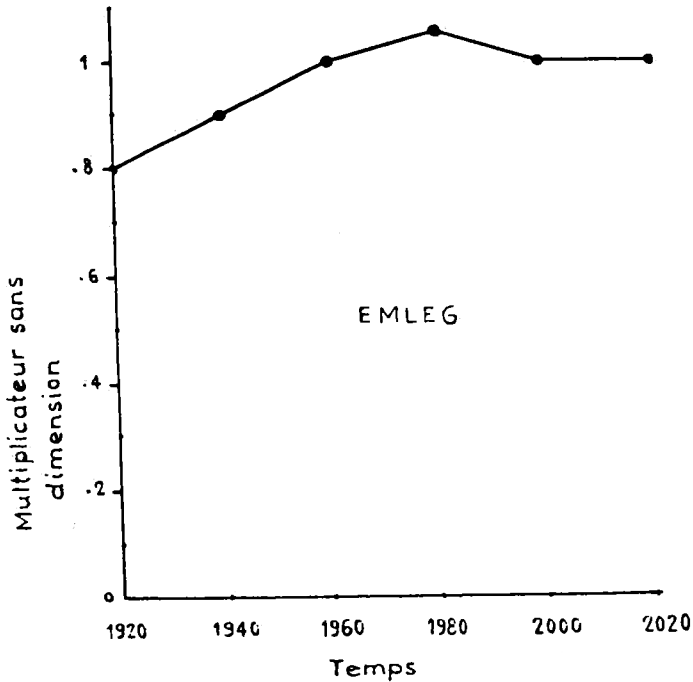


FIG. A.II.6. — Multiplicateur de l'environnement sur l'espérance de vie: EMEG (sans dimension).

Les résultats sont contenus dans les équations ci-après:

$$\begin{aligned} R \quad D05G.KL &= MO05G.K * P05G.K \\ A \quad MO05G.K &= TABHL(TMO05, LEG.K, 20, 50, 5) \\ T \quad TMO05 &= .154/.119/.096/.078/.064/.050/.040 \\ R \quad D515G.KL &= MO515G * P515G.K. \\ A \quad MO515G.K &= TABHL(TMO515, LEG.K, 20, 50, 5) \\ T \quad TMO515 &= .022/.017/.014/.011/.009/.008/.006 \end{aligned}$$

R D1545G.KL = MO30G.K\*P1545G.K.  
 A MO30G.K = TABHL(TMO30, LEG.K, 20, 50, 5)  
 T TMO30 = .022/.017/.014/.012/.010/.008/.007  
 R D45G.KL = MO45G.K\*P45G.K  
 A MO45G.K = TABHL(TMO45, LEG.K, 20, 50, 5)  
 T TMO45 = .059/.053/.049/.046/.043/.040/.038

### 2.3.2. Calcul de l'espérance de vie

Deux influences majeures déterminent le niveau de l'espérance de vie dans le modèle: l'environnement qui englobe les effets d'hygiène, de santé publique, de maîtrise du milieu, et la nutrition ou apport nutritionnel moyen. Nous n'avons pas envisagé le revenu monétaire dans ses relations avec l'espérance de vie du fait que la plus grande partie de la production est auto-consommée.

L'espérance de vie LEG.K se calculera par la formule:

$$\begin{aligned} A \quad & \text{LEG.K} = \text{NLE} * \text{EMLEG.K} * \text{FMLEG.K} \\ C \quad & \text{NLE} = 40 \end{aligned}$$

dans laquelle NLE égale la norme pour l'espérance de vie à la naissance, que nous choisissons égale à 40 ans. Cette norme est multipliée par le multiplicateur d'environnement EMLEG (« Environment Multiplier on Life Expectancy») puis par le multiplicateur de nutrition FMLEG (« Food Multiplier on Life Expectancy»).

#### 2.3.2.1. Le multiplicateur d'environnement

L'environnement est, par définition, exogène au modèle. Le multiplicateur y relatif se formule comme suit (fig. A.II.6)

$$\begin{aligned} A \quad & \text{EMLEG.K} = \text{TABHL}(\text{TEMLEG}, \text{TIMEK}, 1920, 2020, 20) \\ T \quad & \text{TEMLEG} = .8/.9/1/1.05/1/1 \end{aligned}$$

Grâce à son altitude (1500 à 2000 mètres), le Kivu était préservé de l'endémie palustre et de la trypanosomiase, les grands fléaux tropicaux. Pour l'année 1920, une espérance de vie à la naissance de 33 ans nous donne un taux de mortalité infantile de 205‰ et un taux de mortalité de 1 à 4 ans de 185‰, en accord avec les rares observations du niveau de mortalité au Zaïre à cette époque (COPPENS 1925, RODHAIN 1926). Des actions médicales y ont été exercées, surtout après 1935. Certaines grandes épidémies comme la variole ont été combattues; le pian, la tuberculose, la lèpre, et certaines interventions chirurgicales ont été longtemps les principaux axes d'intervention des services médicaux.

Après 1950, un réseau de dispensaires ruraux a été généralisé dans une optique de santé publique. Le Fonds du Bien-Être Indigène (1948) a mené une action sur le plan du logement et de l'hygiène publique.

Dans ce même cadre, il faut tenir compte d'une amélioration dans la régularité des apports alimentaires avec la diffusion du manioc et divers autres

efforts de vulgarisation agricole. Après l'indépendance, la situation du Kivu s'est détériorée; plusieurs rébellions ont éclaté (1961, 1964). En 1967, la situation fut à nouveau perturbée par l'épisode des mercenaires.

D'une façon très schématique, nous estimons que pour autant que l'apport nutritionnel reste normal, différentes améliorations de l'environnement ont conduit l'espérance de vie de 33 ans en 1920 à 42 ans maximum en 1960, soit un accroissement de 20%, ce qui se traduit par la table de fonction détaillée ci-dessus.

### 2.3.2.2. Le multiplicateur de nutrition

Les relations causales entre espérance de vie et nutrition sont difficiles à établir.

Dans les cas extrêmes de sous-nutrition, la relation est évidente mais elle est plus malaisée à apprécier lorsqu'il s'agit d'un déséquilibre de la nutrition ou malnutrition. Celle-ci affaiblit la résistance à l'infection. Les interactions entre les carences alimentaires et les infections expliquent l'essentiel des décès entre 1 et 5 ans.

Plusieurs auteurs (WYON & GORDON 1971, SCRIMSHAW *et al.* 1968) confirment l'hypothèse d'une réduction de moitié de la mortalité juvénile dans les régions à malnutrition endémique, en cas d'amélioration sensible des apports alimentaires.

Appliquée au Kivu, une telle hypothèse conduirait à une espérance de vie de 55 ans. Une telle amélioration n'est pas envisagée dans le modèle, parce que très improbable.

Inversement, il est évident que l'espérance de vie diminue quand la ration alimentaire diminue mais cette relation n'est pas linéaire (MEADOWS & MEADOWS 1973); d'un autre côté, il est difficile de fixer le seuil alimentaire à partir duquel la mortalité s'élève considérablement. Au Kivu, la norme nutritionnelle par habitant est d'environ 2000 kcal (VIS *et al.* 1969).

Nous donnons au multiplicateur de la nutrition FMLEG une valeur variant de 0 à 1 pour 1 correspondant à 2000 kcal. Nous avons estimé que la situation ne pouvait guère que se détériorer ou se maintenir au niveau actuel. L'espérance de vie diminue lentement avec la nutrition jusqu'au niveau 1500 kcal, puis tombe rapidement.

$$\begin{aligned} A \quad FMLEG.K &= TABHL(TFMLE, EPCG.K, 0, 1, .2) \\ T \quad TFMLE &= 0/.25/.5/.75/.9/1 \end{aligned}$$

Cette équation, dans laquelle FPCG.K est l'apport nutritionnel par habitant (FPC «Food Per Capita») dans la zone G, se représente par le graphique, figure A.II.7.

L'allure de la courbe est justifiée par les observations suivantes.

En Éthiopie, certaines communautés vivent «normalement» avec des apports de 1500 kcal par jour. Lors de famines de courte durée, le seuil de survie semble se situer autour de 800 à 1000 kcal par homme et par jour; en dessous de ce seuil, l'augmentation de mortalité est très rapide. Durant les

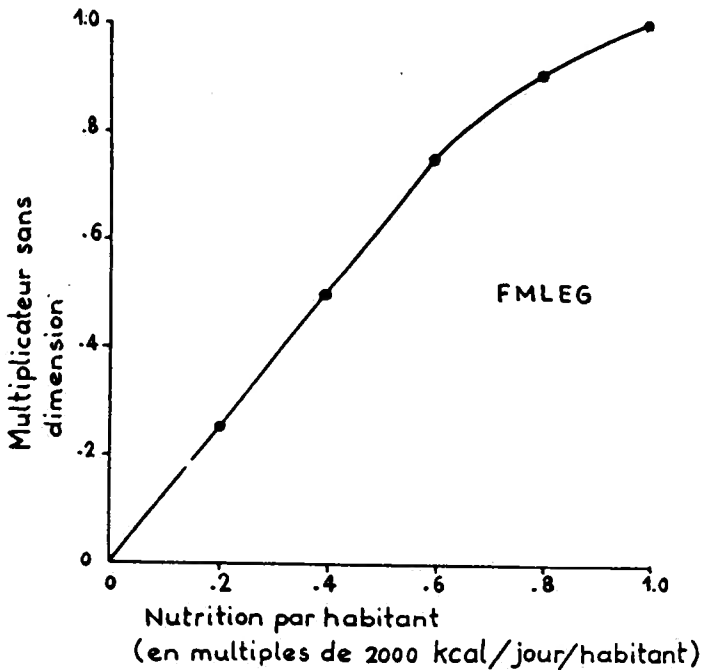


FIG. A.II.7. — Multiplicateur de nutrition sur l'espérance de vie: FMLEG.

famines de 1973, la consommation alimentaire est tombée en dessous de 1000 kcal par jour pendant plusieurs mois dans les zones de sécheresse. La mortalité générale y serait passée de 25‰ à 45-60‰ (ROBERTS & NORSE 1976).

En Mauritanie, la mortalité se serait élevée de 23‰ entre 1969 et 1972 à 65‰ en 1973, durant la grande sécheresse. Là aussi le seuil de 1000 kcal par jour n'aurait pas été maintenu (Center for Disease Control, Atlanta 1973).

#### 2.4. La « maturation »

Nous appelons « maturation » le passage, d'une classe d'âge à la classe suivante, des individus ayant atteint l'âge de la classe. Il faut calculer le nombre de personnes qui chaque année sortent d'une classe pour entrer dans la suivante. Ce calcul doit tenir compte du fait que chaque année, dans une classe d'âge, un certain nombre de personnes décèdent.

Nous avons supposé que le taux de mortalité à l'intérieur de chaque classe d'âge est constant. Dès lors la distribution de la population selon les âges dans une tranche d'âge de durée  $D$  et avec un taux de mortalité  $m$  suit une exponentielle  $e^{-mt}$  (fig. A.II.8).

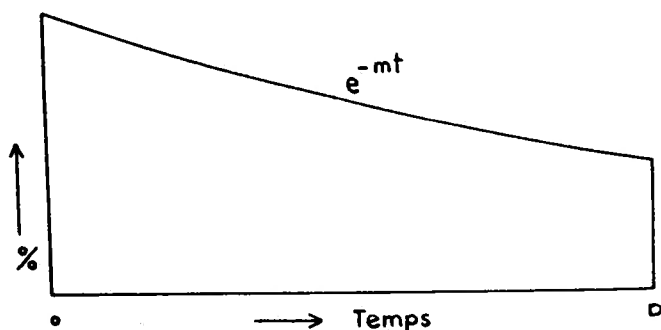


FIG. A.II.8.

Pour normaliser la distribution, il faut diviser  $e^{-mt}$  par l'intégrale de 0 à D de  $e^{-mt}$  soit une valeur  $(1 - e^{-mD})/m$ . La fraction de la population qui «mature» annuellement est donc égale à

$$e^{-mD}/(1 - e^{-mD})/m$$

ou

$$m/(e^{mD} - 1)$$

Une bonne approximation pour cette formule est:

$$(1 - D*m/2)/D$$

Les équations deviennent alors, pour la maturation à 5, 15 et 45 ans:

$$R \quad MA5G.KL = P05G.K*(1 - 5 MO05G.K/2)/5$$

$$R \quad MA15G.KL = P15G.K*(1 - 10 MO15G.K/2)/10$$

$$R \quad MA45G.KL = P1545G.K*(1 - 30 MO30G.K/2)/30$$

## 2.5. La natalité

### 2.5.1. Équation principale

Nous calculons la natalité en fonction de l'intervalle intergénésiq ue et du nombre de femmes aptes à procréer. La relation entre le nombre de naissances par an BG («Births»), l'intervalle moyen entre naissances ABIG («Average Birth Interval») et le nombre de femmes aptes à procréer s'exprime par l'équation

$$R \quad BG.KL = NEWG.K/ABIG.K$$

Nous avons préféré, dans le modèle, la notion d'intervalle intergénésiq ue aux notions de taux de fécondité et de fécondité totale cumulée. La valeur démographique de ces derniers indices n'est pas en cause. L'intervalle entre naissances en Afrique est une réalité sociologique et culturelle mise en lumière

par les enquêtes CAP sur la fécondité (CAP = connaissances, attitudes et pratiques vis-à-vis de la fécondité). Selon ces enquêtes, au Kivu, les femmes déclarent souhaiter « autant d'enfants qu'il est possible » et, dans le même temps, vouloir augmenter les intervalles entre leurs naissances. Par ailleurs, les valeurs accordées traditionnellement à la haute fécondité interdisent toute notion de limitation des familles.

Plusieurs auteurs (YERUSHALMY 1945, WRAY & AGUIRRE 1969) ont souligné l'intérêt de l'espacement entre les naissances pour la santé de la mère et des enfants en milieu rural pauvre, sans considérer la dimension finale de la famille. A cause de l'allaitement et de l'importance des charges agricoles de la mère, toute réduction à moins de 2 ans des intervalles entre naissances se répercute en termes de mortalité fœtale et infantile (WOLFERS & SCRIMSHAW 1975). Aux taux de fécondité, plus abstraits, nous avons donc préféré un indice plus concret, l'intervalle entre les naissances.

### 2.5.2. Nombre de femmes aptes à procréer

Sont aptes à procréer les femmes non atteintes de stérilité et placées dans les conditions sociales permettant la procréation. Considérant que, au Kivu, les naissances illégitimes sont rares (ROMANIUK 1967), nous pouvons assimiler ces conditions au mariage. Sont dès lors considérées aptes à procréer les femmes non stériles et mariées, à l'intérieur de la classe d'âge de 15 à 45 ans.

La figure A.II.9 indique en % la proportion de femmes mariées, célibataires, veuves et divorcées, en fonction de l'âge, pour le Nord-Kivu. La proportion de femmes mariées est élevée, signe d'une forte nuptialité, alors que

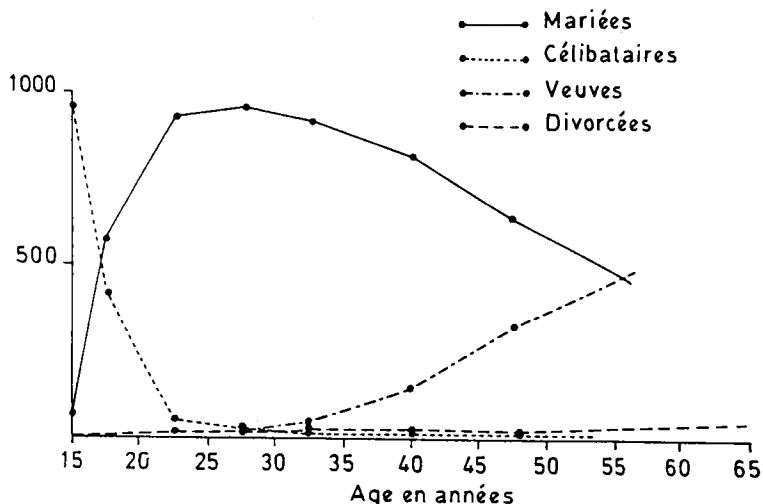


FIG. A.II.9. — Proportion de femmes mariées, célibataires, veuves et divorcées pour 1000 femmes de chaque âge au Nord-Kivu (1956).

le premier mariage n'est pas particulièrement précoce (18 ans). La petite polygamie favorise les remariages (ROMANIUK 1967).

Pour une meilleure analyse de la fécondité, la classe d'âge 15-45 ans est subdivisée en 2 sous-classes, 15 à 25 ans et 25 à 45 ans.

#### 2.5.2.1. Femmes aptes à procréer dans la sous-classe 25 à 45 ans.

Selon notre graphique, 89% des femmes de la sous-classe 25-45 ans sont mariées. La proportion des femmes aptes à procréer, parmi celles-ci, s'obtient en soustrayant les femmes stériles (stérilité primaire) et les femmes progressivement infécondes (stérilité acquise).

Pour ce qui est de la stérilité primaire, nous l'estimons à 5%, en accord avec une estimation de ROMANIUK (1967) selon laquelle le pourcentage de femmes mariées restées sans enfant jusqu'à la ménopause est bas (5 à 6%).

Quant à la stérilité acquise avec l'âge et les maternités successives, elle est progressive: 10% à 30 ans, 16% à 35 ans et 31% à 40 ans. Sa valeur moyenne s'établit à 13% (HENRY 1964).

Au total la proportion de femmes stériles s'élève ainsi à 18%, soit 82% de femmes fertiles.

La proportion de femmes aptes à procréer dans la classe 25-45 ans (désignée par FC2 dans le modèle) peut donc être estimée à:

$$.89 * .82 \simeq .74$$

soit environ les 3/4. Une telle proportion n'est pas exceptionnelle pour des sociétés à fécondité naturelle où la nuptialité est souvent totale.

Notons, enfin, que le nombre total de femmes dans la sous-classe 25-45 ans s'élève approximativement à 30% de la population des deux sexes dans la classe 15-45 ans. De cette façon, la proportion de femmes aptes à procréer entre 25 et 45 ans rapportée à toute la population de 15 à 45 ans peut être estimée à:

$$.3 * FC2, \text{ avec } FC2 = .75$$

#### 2.5.2.2. Femmes aptes à procréer dans la sous-classe 15 à 25 ans

Le nombre de femmes de 15 à 25 ans représente approximativement 20% de la population de 15 à 45 ans, le nombre de femmes d'un âge spécifique donné dans cette sous-classe s'élève à 2% de la population de la classe 15-45 ans.

Selon le graphique figure A.II.9, nous pouvons considérer comme mariées toutes les femmes entre l'âge moyen au premier mariage AM (Age of first Marriage) et 25 ans. Leur proportion, par rapport à la population totale dans la classe 15-45 ans peut s'estimer à  $.02 * (25 - AM.K)$ .

A cet âge, la stérilité secondaire n'est pas encore importante et il y a très peu de veuves. Seule la stérilité primaire joue un rôle, dès lors on peut estimer que 94 à 95% de ces jeunes femmes mariées sont aptes à procréer. Pour

estimer la proportion de celles-ci dans la population totale de la classe 15-45 ans, il faut encore multiplier  $.02*(25 - AM.K)$  par un facteur (désigné par FC1 dans le modèle) qui représente la proportion de femmes fertiles dans la sous-classe 15-25 ans, soit .94.

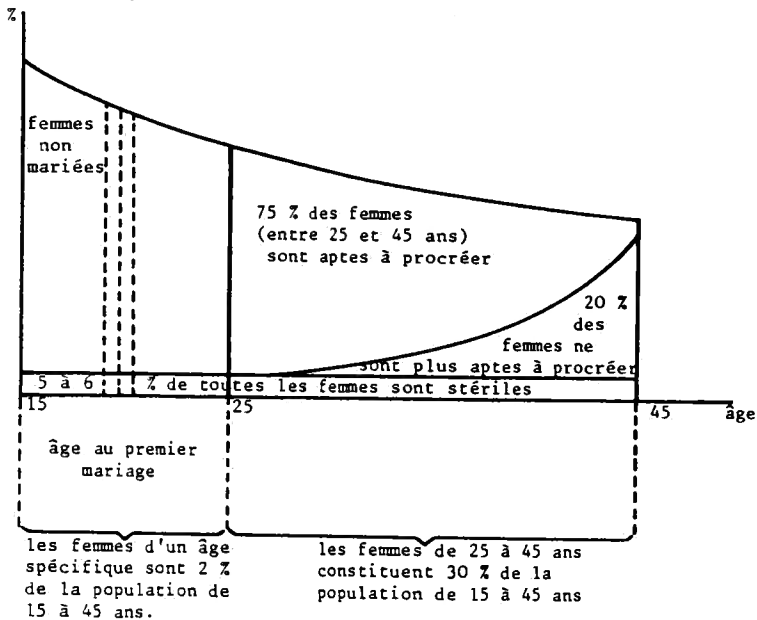


FIG. A.II.10. — Proportion de femmes aptes à procréer.

### 2.5.2.3. Femmes aptes à procréer dans la classe 15-45 ans

Au total, nous trouvons, pour la proportion de femmes aptes à procréer dans la population de 15 à 45 ans, FEW (« Fraction of Exposed Woman »)

$$\begin{aligned} A \quad FEWG.K &= .3FC2 + .02*(25 - AMG.K)*FC1 \\ C \quad FC2 &= .75 \\ C \quad FC1 &= .94 \end{aligned}$$

Pour obtenir le nombre de femmes aptes à procréer NEW (« Number of Exposed Woman ») on multipliera la proportion FEW par le chiffre de la population de 15 à 45 ans

$$A \quad NEWG.K = FEWG.K * P1545G.K$$

Enfin, pour faciliter la compréhension des équations précédentes, nous représentons de façon schématisée à la figure A.II.10 le raisonnement qui nous a permis d'évaluer le nombre de femmes aptes à procréer: aux femmes mariées et fécondes de la sous-classe 25-45 ans, s'ajoutent les femmes mariées



et fécondes de la sous-classe 15-25 ans dont le nombre dépend d'une seule variable, AM, âge moyen du premier mariage.

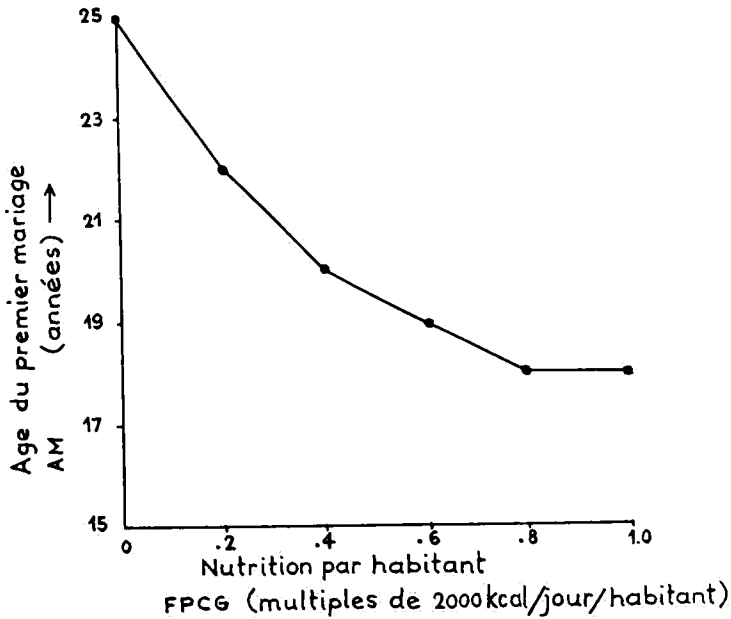


FIG. A.II.11. — Variation de l'âge au premier mariage en fonction de la nutrition.

#### 2.5.2.4. Évaluation de l'âge moyen au premier mariage

L'âge du premier mariage est une variable complexe qui dépend des structures de parenté, des rapports de production, etc. Son importance en tant que déterminant de la fécondité était déjà reconnue par Malthus. Dans une population comme celle du Kivu, l'âge au premier mariage dépend en partie de la situation nutritionnelle. La jeune femme représente pour sa famille une force de travail que l'on tend à conserver. Au Rwanda, par exemple, où la densité de la population est plus élevée, l'âge au premier mariage pour les femmes a reculé jusque 22 ans.

Selon l'observation de MEUVRET (1946), pour les anciennes populations européennes, lorsque la situation nutritionnelle se dégrade au point d'approcher la famine, les mariages cessent momentanément. Nous admettons la relation suivante entre l'apport nutritionnel (FPC) et l'âge moyen au premier mariage:

$$A \quad \text{AMG.K-TABHL}(\text{AMT}, \text{FPCG.K}, 0, 1, .2)$$

$$T \quad \text{AMT} = 25/22/20/19/18/18$$

ce qui se représente graphiquement par la figure A.II.11.

### 2.5.3. *L'intervalle intergénérisique moyen*

L'intervalle entre les naissances n'est pas seulement une notion culturelle, c'est aussi une réalité physiologique. Ses trois composantes sont la gestation, d'une durée peu variable si l'on écarte la mortalité intra-utérine, l'aménorrhée *post partum* et le délai de conception.

#### 2.5.3.1. *L'aménorrhée post partum*

En régime de fécondité naturelle, la durée d'aménorrhée *post partum*, qui connaît de grandes variations (de 6 à 18 mois), est apparue comme la composante la plus importante des intervalles entre naissances (POTTER 1963, HENRY 1964). Il n'y a pas de théorie complète quant aux facteurs influençant la durée de l'aménorrhée *post partum*. Il semble toutefois certain que l'allaitement et la nutrition jouent tous deux un rôle important.

On connaît la relation positive entre les durées d'aménorrhée et d'allaitement.

En l'absence de lactation, la durée moyenne d'aménorrhée *post partum* observée dans les pays industrialisés est de 58 jours (SALBER *et al.* 1966, PASCAL 1969). Du 2<sup>e</sup> au 4<sup>e</sup> mois d'allaitement, la durée moyenne de l'aménorrhée est régulièrement supérieure mais la différence se réduit progressivement. Au-delà du 4<sup>e</sup> mois d'allaitement, l'aménorrhée se prolonge mais dans une moindre mesure. Les coefficients de corrélation entre les deux variables sont de l'ordre de 0.5 (TIETZE 1961).

Ainsi, à Taiwan, on a trouvé une durée médiane de l'allaitement de 13.8 mois avec une durée médiane de l'aménorrhée *post partum* de 11.4 mois (JAIN *et al.* 1970). Au Punjab, ces mêmes durées sont respectivement de 21 mois et de 11 mois (POTTER *et al.* 1965). Il n'y a donc pas de doute que des facteurs autres que l'allaitement interviennent, comme par exemple l'introduction d'une alimentation complémentaire au lait maternel (PEREZ *et al.* 1971); l'âge de la mère, la fréquence des allaitements, ainsi que la tension et le travail auxquels est soumise la mère. Une observation importante également est que, dans des conditions nutritionnelles normales, l'aménorrhée *post partum* cesse rapidement lorsque, pour l'une ou l'autre raison, il est mis fin à l'allaitement. Nous reviendrons sur ce point plus loin.

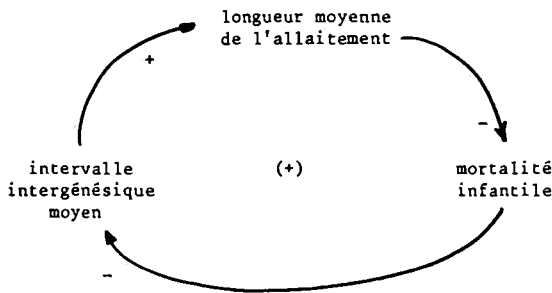
Dans les régions rurales pauvres telles que le Kivu, l'allaitement est généralement prolongé, à défaut de quoi l'enfant meurt. C'est dire qu'un allaitement prolongé est important quand d'autres sources de nutrition font défaut. Dans le modèle, nous avons centré notre attention sur l'influence de l'alimentation de la mère en tant que facteur déterminant de la durée de l'aménorrhée *post partum* et cela parce que, au Kivu, l'allaitement est aussi prolongé que possible, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il y soit mis fin par la mort de l'enfant, le tarissement ou une nouvelle grossesse de la mère. De plus, les autres circonstances, au Kivu, sont plus ou moins égales, en ce qui concerne les mères.

Plusieurs auteurs ont avancé récemment une explication possible par le

facteur nutritionnel des durées inusitées de l'aménorrhée *post partum* (CANTRELLE & LERIDON 1971, RAJALAKSHMI 1971, CHEN *et al.* 1974). Les relations entre la malnutrition et la durée de l'aménorrhée *post partum* au Kivu (qui est de l'ordre de 18 mois) ont été développées ailleurs (VIS *et al.* 1975b, CARAËL 1976). Cette aménorrhée *post partum* peut se prolonger lorsque la situation nutritionnelle s'aggrave et aussi lorsque se prolonge la durée d'allaitement. En dehors du *post partum* et de l'allaitement, d'autres circonstances peuvent entraîner l'aménorrhée, ainsi des aménorrhées de famine peuvent frapper un grand nombre de femmes (LE ROY LADURIE 1973). Dans les pays industrialisés, durant les deux guerres mondiales, ces circonstances ont été décrites à de nombreuses reprises (SMITH 1947, ANTONOV 1947). Ces aménorrhées de famine cessent avec la reprise de l'alimentation.

Comme déjà mentionné plus haut, en circonstances normales, l'aménorrhée *post partum* cesse peu après que s'arrête l'allaitement. En ce cas, la femme redevient fertile et, dans les conditions de fécondité naturelle, sera enceinte peu après. Pour cette raison, l'intervalle moyen entre naissances, lorsque l'enfant meurt avant cessation de l'aménorrhée *post partum* maternelle, est plus court que lorsque l'enfant vit. Dès lors, nous devons considérer 2 cas distincts et nous introduisons un intervalle intergénésiq ue dans le cas où l'enfant reste en vie, BILG («Birth Interval when the child lives») et un intervalle intergénésiq ue lorsque l'enfant meurt (avant que l'allaitement ait été autrement interrompu), BIDG («Birth Interval after previous child Dies»).

Notons en passant qu'il faut veiller à ne pas introduire dans le modèle la rétroaction positive erronée suivante:



La probabilité qu'un enfant décède avant un an et demi, CDG («Chance of Dying») détermine l'importance respective des intervalles intergénésiq ues BILG et BIDG. Remarquons que le chiffre de 1.5 ans, ou 18 mois, figure ici parce que c'est la durée moyenne de l'aménorrhée *post partum* au Kivu. Donc si un enfant meurt après cette période, la durée de l'aménorrhée de la mère n'en sera en général pas affectée.

Pour l'intervalle intergénésiq ue moyen nous avons:

$$A \quad AB * G.K = CDG.K * BIDG.K + (1 - CDG.K) * BILG.K$$

CDG, probabilité de décès avant 1.5 an est plus forte que la mortalité moyenne de 0 à 5 ans dans le rapport estimé de 2.5 à 1.

$$A \quad CDG.K = RM * MO05G.K$$

$$C \quad RM = 2.5$$

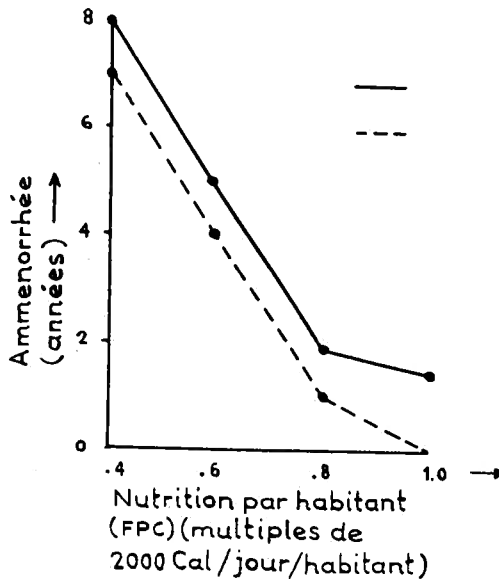


FIG. A.II.12. — Durée de l'aménorrhée en fonction de la nutrition.

La distinction entre enfants morts et enfants vivants doit être faite à cause de la différence qui en résulte dans la durée de l'aménorrhée *post partum*. Nous avons DPPA (« Duration of Post Partum Amenorrhœa ») dans le cas où l'enfant reste en vie et PPAWL (« length of Post Partum Amenorrhœa Without Lactation ») dans le cas où l'enfant meurt. PPAWL cependant, selon nos estimations, ne concerne que l'aménorrhée *post partum* après .75 an (voir plus loin).

Les équations s'écrivent:

$$A \quad DPPAG.K = TABHL(TDPPA, FPCG.K, .4, 1, .2)$$

$$T \quad TDPPA = 8/5/1.8/1.5$$

$$A \quad PPAWL.K = TABHL(TPPAWL, FPCG.K, .4, 1, .2)$$

$$T \quad TPPAWL = 7/4/1/0.$$

Leur représentation graphique est donnée à la figure A.II.12.

### 2.5.3.2. Délai de conception et de gestation

Le délai moyen de conception en régime de fécondité naturelle connaît certaines variations. Il a une valeur minimale de 4.5 mois environ. Il peut être

allongé considérablement par les tabous sexuels qui suivent l'accouchement de la femme dans certaines sociétés. Ces tabous *post partum* sont inconnus au Kivu où il n'existe que des tabous sexuels de courte durée (KASHAMURA 1973). D'autres facteurs, telle la fréquence de la polygamie, peuvent influencer la durée du délai de conception. Les interdits sexuels et la polygamie avaient jadis une importance plus grande, le mariage était plus tardif. L'intervalle entre naissances était supérieur à 4 ans. Le taux de natalité, en 1930, oscillait autour de 40‰.

Il est peu vraisemblable que les tabous sexuels réapparaissent dans le futur. Par ailleurs, selon une expérience récente (CARAËL *et al.* 1976), l'introduction de la planification familiale dans des sociétés de ce type est extrêmement difficile pour des raisons socio-culturelles.

Nous avons groupé le délai moyen de conception, la durée de gestation en CGD (« Conception and Gestation Delay ») et 1.5 mois dus à la mortalité fœtale précoce et nous avons estimé empiriquement que ce délai global était passé de 32 mois en 1920 à 15 mois en 1960 et qu'il conservait ensuite cette valeur presque minimale.

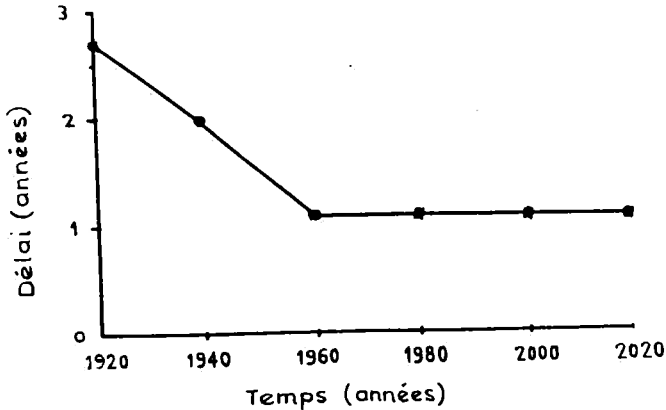


FIG. A.II.13. — Variation dans le temps du délai de conception et de gestation.

L'équation s'écrit:

$$A \quad CGD.K = TABHL(CGDT, TIME.K, 1920, 2020, 20)$$

$$T \quad CGDT = 2.7/2/1.3/1.3/1.3/1.3$$

et se représente graphiquement par la figure A.II.13.

### 2.5.3.3. Durée totale de l'intervalle intergénéscique

Dans les cas où l'enfant vit, l'intervalle intergénéscique moyen BILG est la somme de l'aménorrhée *post partum* DPPAG et du délai de conception et de gestation CGD

$$A \quad BILG.K = CGD.K + DPPAG.K$$

Quand l'enfant meurt, le délai de conception est généralement très court. Nous estimons la valeur de CGD à 1.2 an. Il faut y ajouter la durée de vie moyenne des enfants décédés avant 1.5 an qui est de 0.75 an. L'intervalle est donc de 1.95 soit 2 ans, auquel il faut ajouter la durée de l'aménorrhée *post partum* pour les enfants décédés.

$$A \quad \text{BIDG.K} = 2 + \text{PPAWL.K}$$

On voit que la distinction faite entre les deux cas pour le calcul de l'intervalle intergénérisique n'est valable que lorsque la nutrition est relativement bonne. En effet, pour  $\text{FPCG} = 1$  et pour les périodes postérieures à 1960 on trouve  $\text{BILG} = 1.3 + 1.8 = 2.8$  ans et  $\text{BIDG} = 2 + 0 = 2$  ans, mais quand  $\text{FPCG} = .8$ , nous avons  $\text{BILG} = 1.3 + 1.8 = 3.1$  ans et  $\text{BIDG} = 2 + 1 = 3$  ans. Si la nutrition tombe plus bas encore sous la norme déjà faible, l'aménorrhée se prolonge quelle que soit la lactation.

## 2.6 La force de travail

La variable Force de Travail LF («Labour Force») découle directement de la population de 15 à 45 ans. Nous avons attribué aux personnes de plus de 45 ans une force de travail de 0,7 (l'unité étant attribuée à l'homme et à la femme adultes constituant le ménage rural), ce coefficient est désigné par l'acronyme LCOP («Labour Coefficient for Older Persons»).

Au Kivu, la division des tâches agricoles est très inégale entre l'homme et la femme. Si l'on attribue une unité de production à la femme adulte, l'homme ne vaut que 0,3 (HECQ *et al.* 1963). La force de travail ne serait alors que de 0,65 en moyenne, par personne adulte entre 15 et 45 ans.

Pour notre propos, il n'était pas nécessaire, dans le modèle, de distinguer entre hommes et femmes. Dès lors nous ne considérons que des moyennes valant pour un demi-couple. Ceci se reflétera plus loin dans la surface qu'un demi-couple peut cultiver, ce qui ne veut pas dire que chacun des partenaires du couple effectue le même travail.

L'équation s'écrit:

$$A \quad \text{LFG.K} = \text{P1545G.K} + \text{LCOP} * \text{P45G.K}$$

$$C \quad \text{LCOP} = .7$$

## 2.7 Variables globales

Il nous reste à envisager quelques variables globales comme la population PG («Population»), le taux spécifique de natalité BRG («Birth Rate») et le taux spécifique de mortalité DRG («Death Rate») dont les équations sont:

$$A \quad \text{PG.K} = \text{P05G.K} + \text{P515G.K} + \text{P1545G.K} + \text{P45G.K}$$

$$A \quad \text{BRG.K} = \text{BG.JK} / \text{PG.K}$$

$$A \quad \text{DRG.K} = (\text{D05G.K} + \text{D515G.5K} + \text{D1545G.5K} + \text{P45G.JK}) / \text{PG.K}$$

## 2.8. *Notice générale*

Dans tout l'exposé ci-avant relatif au Secteur Population, nous n'avons considéré que le cas de la zone G («Good Soils») caractérisée par la dominance de sols volcaniques. Tous les acronymes s'y terminent par la lettre G.

Le Secteur Population pour la zone L («Less Good Soils») se décrit selon le même schéma, tous les acronymes s'y terminant par la lettre L. Il serait superflu d'en refaire l'exposé.

Tous les éléments de la démographie ont ainsi été examinés, à l'exception de la migration dont il est traité sub. I.5.

## 3. LE SECTEUR PRODUCTION

### 3.1. *Notice générale*

Contrairement à ce qui a été fait pour le Secteur Population ci-avant, nous présentons les équations du Secteur Production dans l'hypothèse d'une seule région homogène où nous ne faisons pas la distinction entre la zone G et la zone L. C'est d'ailleurs l'hypothèse qui fait l'objet de la simulation n° 1 décrite au chapitre II.3.

L'exposé serait identique tant pour la zone G que pour la zone L sous réserve de l'introduction des lettres G ou L dans toutes les équations.

### 3.2. *Principes d'analyse*

Considérant les caractéristiques du système agricole du Kivu, nous basons l'analyse du secteur de la production sur le facteur nutritionnel, et plus particulièrement sur le volume des récoltes exprimé en calories (cf. I.6).

Ce point de vue se justifie comme suit:

Nous avons déjà souligné, dans la première partie de l'étude, l'importance de l'auto-consommation. La famille produit presque tout ce qu'elle consomme sans dégager de surplus; les échanges de produits vivriers au marché s'apparentent au troc. La compétition sociale porte sur les biens précieux, comme les vaches ou la bière, bases des liens matrimoniaux, de l'ascendant social et du pouvoir politique.

L'étendue des terres cultivées est plus en rapport avec la composition de la famille qu'avec le statut social du père. Au sein de la famille, HECQ *et al.* (1963) ont observé que la superficie cultivée est en corrélation étroite avec les unités de consommation et, dans une moindre mesure, avec les unités de production.

Selon VIDAL (1974) les superficies disponibles par famille étaient autrefois bien supérieures à ce qu'elles sont aujourd'hui; les longues jachères maintenaient la qualité des sols assurant ainsi une production potentielle plus élevée

par unité de surface. La précarité des moyens de stockage et l'absence de débouchés, d'une part, les servitudes féodales, d'autre part, n'incitaient guère à la production d'un surplus de récolte.

Le modèle est basé sur le maintien de ce système d'auto-consommation. Les raisons en sont exposées sub II.1 (Les hypothèses de base).

Le secteur des biens de subsistance domine toute la production. Nous mesurons donc celle-ci par l'apport alimentaire.

L'apport alimentaire se mesure habituellement en calories et en protéines. Dans le modèle présenté, nous avons préféré recourir aux calories seules qui suffisent à caractériser la situation.

Historiquement, la situation nutritionnelle s'est dégradée en même temps pour les calories et les protéines.

Le déséquilibre protéique trouve en partie son origine dans l'attrait exercé par les cultures de bananes et de tubercules au détriment de cultures de sorgho et de haricots. Les premières, en effet, présentent l'avantage d'une récolte abondante et assurée tandis que les secondes produisent moins et sont plus sujettes aux aléas du climat. De plus, les tubercules (manioc et patates douces) se conservent en terre, ce qui permet d'étaler la récolte au prorata des besoins. Par ailleurs, la grande faveur accordée au bananier est expliquée sub. I.6.

Or, tubercules et bananes sont très pauvres en protéines, à l'opposé des céréales et des légumineuses. La tendance est donc vers un appauvrissement de la part relative des protéines dans la production.

Plus se réduit la superficie disponible, plus les paysans ont tendance à accroître les emblavures de tubercules au détriment des céréales et des légumineuses.

Une raison additionnelle, pour considérer seulement les calories, repose sur les exigences du métabolisme humain: l'organisme tend avant tout à satisfaire les besoins énergétiques de sorte qu'en dessous d'un certain apport calorique, les protéines elles-mêmes peuvent être utilisées sous forme de calories.

### *3.3. Apports caloriques de la bananeraie et des cultures vivrières*

Nous avons montré sub. I.6. la place considérable que prend la bananeraie dans l'utilisation des terres arables ainsi que dans la vie sociale et l'économie du milieu rural Shi. Par ailleurs, notre tableau 4 (page 46) a montré que la production énergétique moyenne d'une exploitation coutumière de 1 ha de superficie physique (donnant 1,37 ha de récolte annuelle), bananeraie comprise, s'élève à 5 365 100 kcal dont 374 800 seulement provenant de la bananeraie.

Les données du tableau permettent d'établir que la production calorique de 1 ha de bananeraie est d'environ un million de kcal contre 7 millions pour la culture vivrière.

Ce qui précède justifie, à notre point de vue, la distinction qui est faite dans le modèle entre bananeraies et cultures vivrières sur le plan de l'apport calorique.



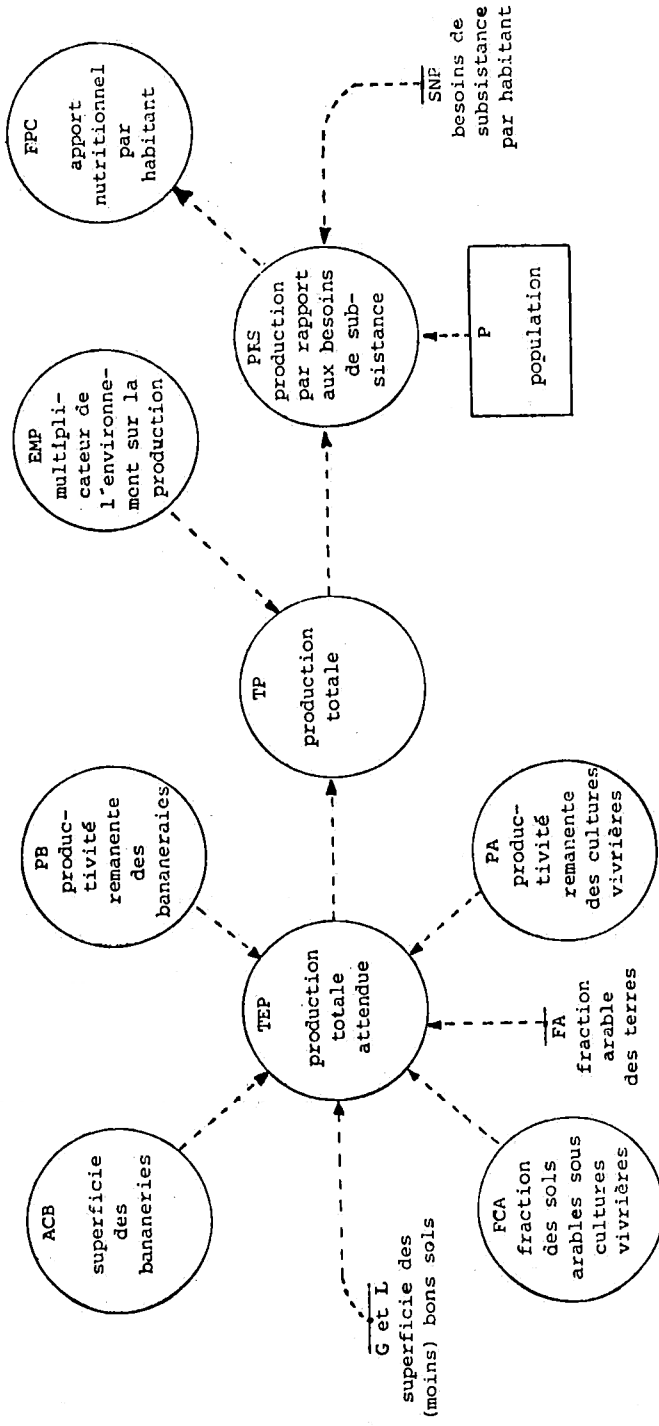


FIG. A.II.14.  
Secteur production.  
Dynamo Flow Diagram pour le calcul de l'apport nutritionnel par habitant.

### 3.4. Apport nutritionnel par habitant

Si l'on connaît la population ainsi que la superficie cultivée et la production exprimée en calories par ha et par an, tant pour la bananeraie que pour les cultures vivrières, il est possible de calculer la production totale et l'apport nutritionnel moyen que l'on peut rapporter aux besoins caloriques par habitant.

La population étant déterminée comme exposé ci-avant (cf. secteur de la Population), il reste à quantifier les superficies.

Le « flow diagram » correspondant aux calculs qui suivent est représenté à la figure A.II.14.

De la surface totale de l'entité géographique considérée, il faut retrancher les terres non cultivables pour obtenir la surface accessible aux cultures, ou « sols arables ». Si l'on désigne par FA (« Fraction Arable ») la fraction arable de la surface totale, la surface arable sera égale à FA multiplié par la surface, soit, par exemple, FA\*G pour la zone G et FA\*L pour la zone L.

De cette superficie arable, une partie, ACB (« Area Cultivated with Bananas »), est occupée par les bananeraies (cf. 3.5. ci-après). Il reste disponible pour les cultures vivrières (« annual crops ») une fraction FAA (« Fraction Available for Annual crops »), soit FAA\*G ou FAA\*L selon la zone considérée.

Vu le système de jachères, une partie seulement de la surface arable disponible est sous cultures annuelles, l'autre étant sous jachère. La fraction cultivée exprimée par rapport à la surface arable totale est désignée par FCA (« Fraction Cultivated with Annual crops »); exprimée par rapport à la surface arable disponible, elle est désignée par FACA (« Fraction of Available land Cultivated with Annual crops »).

Si nous désignons par PA (« Productivity of Annual crops ») et PB (« Productivity of Bananas ») respectivement la production par ha et par an, en circonstances normales et exprimées en calories, des cultures annuelles, d'une part, et des bananeraies, d'autre part, la « production attendue » TEP (« Total Expected Production ») se calcule par:

$$A \quad TEP.K = ACB.K * PB.K + FCA.K * FA * G * PA.K$$

Pour tenir compte des facteurs d'environnement et de climat, nous introduisons une variable multiplicatrice agissant sur la « production attendue », c'est-à-dire sur la production dans des circonstances moyennes.

TP (« Total Production ») représentant la production totale effectivement obtenue est le produit de la production attendue TEP et du facteur multiplicatif EMP (« Environmental Multiplier on Production »).

$$A \quad TP.K = TEP.K * EMP.K$$

Ce multiplicateur dépend à la fois d'un facteur aléatoire NORM N(1, SD) qui varie dans le temps selon une distribution normale de moyenne 1 et de déviation standard SD, et d'un facteur qui varie dans le temps de façon déterminée. Un tel facteur permettrait, par exemple, de représenter l'améliora-

tion de production intervenue au Kivu entre 1930 et 1960 suite à l'introduction du manioc. Toutefois, pour le moment, nous n'en tenons pas compte ici car nous avons déjà introduit cette amélioration dans son effet sur l'allongement de l'espérance de vie (cf. page 135, EMLEG). Nous avons dès lors:

$$\begin{aligned} \text{A } \text{EMP.K} &= \text{TABHL}(\text{TEMP}, \text{TIME.K}, 1920, 1960, 20) * \text{NORMRN}(1, \text{SD}) \\ \text{T } \text{TEMP} &= 1/1/1 \\ \text{C } \text{SD} &= 0 \end{aligned}$$

Autrement dit, pour le moment, la valeur de EMP est 1.

Les besoins caloriques par habitant et par an étant SNP (« Subsistence Needs per Person ») et la population totale P, le rapport PRS (« Production Relative to Subsistence needs »), entre la production totale et les besoins caloriques de la population s'écrit:

$$\text{A } \text{PRS.K} = \text{TP.K} / (\text{P.K} * \text{SNP})$$

Enfin, PRS représente l'apport nutritionnel par habitant (FPC) exprimé en fraction des besoins caloriques, puisque, dans le cas du Kivu, toute la production est destinée à la subsistance

$$\text{A } \text{FPC.K} = \text{PRS.K.}$$

### 3.5. *Superficie des bananeraies*

Par habitant, nous envisageons une superficie moyenne et constante ANB (« Area Norm for Bananas »), ce qui revient à envisager une superficie moyenne par famille en tenant compte de la composition de la famille.

Plusieurs auteurs (HECQ *et al.* 1963, KEVERS 1952, 1953 et 1956) citent des estimations de superficie moyenne de bananeraie par famille d'environ 25 ares soit 5 ares par habitant. Nous avons adopté cette estimation dont les variations en plus ou moins n'ont pas une grande influence sur le comportement ultérieur du modèle.

La superficie totale utilisée pour la bananeraie ACB égale donc le produit de la population totale P et de la superficie moyenne, constante, par hab. ANB

$$\begin{aligned} \text{A } \text{ACB.K} &= \text{P.K} * \text{ANB} \\ \text{C } \text{ANB} &= .05 \end{aligned}$$

### 3.6. *Superficie des cultures vivrières*

La superficie des cultures annuelles, représentée par la « fraction » des terres arables effectivement sous cultures vivrières à un moment déterminé FCA ne peut, selon notre hypothèse, être plus grande que trois autres:

- La fraction des terres arables disponible pour les cultures vivrières (FAA); il n'est pas possible, en effet, de cultiver plus que la superficie disponible;

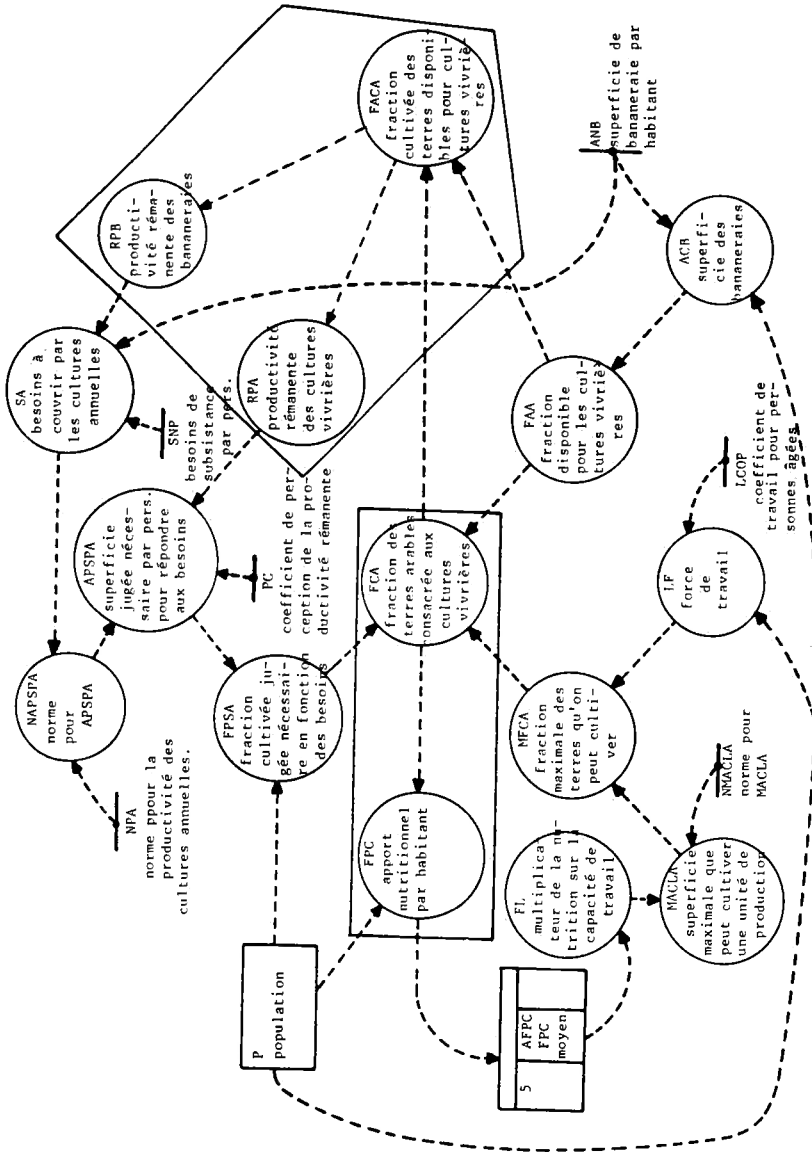


FIG. A.II.15. — Secteur production — Dynamo Flow Diagram.

- La fraction de ces mêmes terres qu'il est possible de cultiver MFCA («Maximal Fraction Cultivated with Annual crops») en tenant compte des limites physiques à la force de travail;
- Enfin, la fraction des terres qui doit être cultivée pour satisfaire les besoins évidents et perçus FPSA («Fraction needed to satisfy Perceived Subsistence needs in Annual crops»). Les individus limitent, en effet, leurs cultures à la satisfaction de leurs besoins physiques et sociaux (agriculture de subsistance).

Rappelons que les superficies disponibles pour les cultures vivrières n'apparaissent qu'après avoir soustrait les superficies sous bananeraies du total des terres cultivées.

Nous avons les équations suivantes:

$$\begin{aligned} A \quad FCA.K &= \text{MIN}(FPSA.K, AFCA.K) \\ A \quad AFCA.K &= \text{MIN}(MFCA.K, FAA.K) \end{aligned}$$

dans lesquelles AFCA est une variable auxiliaire introduite pour des raisons techniques. FCA est donc le minimum des trois fractions FPSA, MFCA et FAA.

Nous examinerons séparément ces 3 fractions qui déterminent la superficie cultivée. Le «flow diagram» correspondant aux équations suivantes est montré en figure A.II.15.

### 3.6.1.

La fraction des terres arables susceptibles d'être utilisée pour les cultures vivrières FAA est égale à 1 moins la fraction de terres arables consacrée aux bananeraies, c'est-à-dire le rapport entre ACB et la superficie totale des terres arables qui, rappelons-le, s'obtient en multipliant la superficie totale G ou L par la fraction de terres arables FA.

$$A \quad FAA.K = 1 - (ACB.K/(FA*G))$$

### 3.6.2.

La fraction maximale des terres arables qu'il est physiquement possible de cultiver MFCA est fonction de la superficie maximale cultivable par unité de production MACLA («Maximal Area which can be Cultivated by one Labour unit with Annual crops»), de la force de travail (LF) ou nombre d'unités de production et de la superficie des terres arables (G ou L)

$$A \quad MFCA.K = (LF.K*MACLA.K)/(FA*G).$$

La superficie maximale que peut cultiver une unité de production dépend d'une norme pour cette superficie NMACLA («Norm for MACLA») et d'une variable qui rend compte de l'influence de l'apport moyen nutritionnel AFPC («Average Food Per Capita») sur la capacité physique de travail.

Le lien entre la nutrition et la force de travail est abordé par divers auteurs.

Nous considérons que la capacité de travail tombe à 50% lorsque l'apport calorifique tombe à 40% des besoins, soit à 800 kcal/jour, considérant la norme que nous avons admise pour le Kivu.

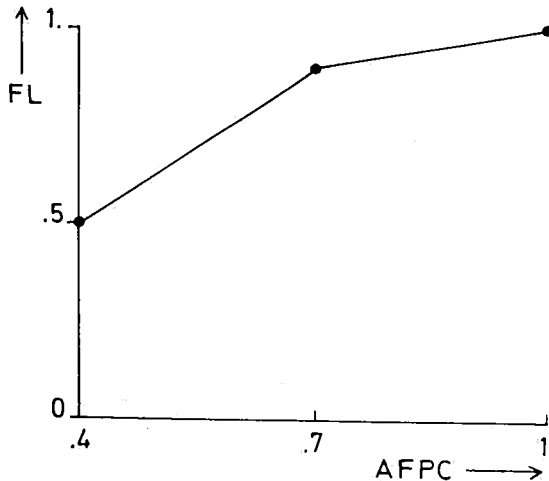


FIG. A.II.16. — Multiplicateur de la nutrition sur la capacité de travail (sans dimension). (AFPC = Nutrition moyenne par habitant.)

L'influence de la nutrition sur la capacité de travail est faible pour un apport moyen de 1400 kcal/jour (soit 70% de la norme). Entre ces points, on détermine FL (« Food multiplier on Labour ») multiplicateur de nutrition sur la capacité de travail, par interpolation linéaire (fig. A.II.16).

$$\begin{aligned} A \quad & \text{MACLA.K} = \text{NMCLA.K} * \text{TABHL}(\text{FLT}, \text{AFPC.K}, .4, 1, .3) \\ T \quad & \text{FLT} = .5/.9/1 \\ C \quad & \text{NMCLA} = .37 \end{aligned}$$

Nous avons pris comme valeur de la superficie maximale que peut cultiver une unité de production complète (NMACLA) 37 ares (TONDEUR 1955, LEURQUIN 1960), ce qui se justifie comme suit:

L'expérience acquise dans les paysannats du Kivu et du Rwanda montre que la superficie maximale que peut cultiver un jeune ménage est de 110 ares. De cette superficie une partie est consacrée aux cultures de rapport (thé, café) et une partie aux bananeraies qui, les unes et les autres, incombent principalement aux hommes. Un encadrement agricole serré stimule l'activité de ceux-ci. De plus, les distances de transport champ-rugo sont réduites et diverses facilités fournies aux paysans.

La norme par unité de production, dans le paysannat, considérant que la répartition du travail entre homme et femme, y est plus égale, peut être évaluée

à 55 ares. Nous adoptons cette surface comme capacité de travail de la femme en milieu traditionnel; la majorant de 1/3 pour tenir compte du travail de l'homme dans les champs vivriers nous obtenons 73 ares pour le ménage, d'où la norme de 37 ares de cultures vivrières par unité de production.

Ne pas tenir compte de cette particularité eût été peu réaliste et eût conduit à surestimer de 50% la capacité de travail du ménage. Diverses hypothèses pourront d'ailleurs être introduites à ce propos dans les tests de sensibilité.

En cas de dégradation sévère des sols, l'apport nutritionnel, lui-même amoindri par la baisse de la productivité, réduit la capacité de travail de la population. De ce fait, il constitue un facteur limitant la surface cultivable au moment où, pour conserver un certain niveau de production, les superficies devraient être considérablement augmentées ou les méthodes de culture rénovées.

Le déséquilibre nutritionnel entraîne ainsi des effets « en boule de neige » diminuant la capacité de travailler, de produire et d'innover, selon le principe que « la pauvreté entraîne la pauvreté ».

Pour quantifier l'apport nutritionnel moyen par habitant, nous avons, pour des raisons internes au modèle, considéré que la capacité de travail n'était pas affectée immédiatement par la nutrition et adopté une moyenne exponentielle des 5 dernières années.

### 3.6.3.

Enfin, les besoins constituent un facteur social et physiologique imposant une limite à la superficie des terres cultivées. En temps normal, lorsque les terres sont nombreuses et la qualité des sols bonne, c'est ce facteur qui est déterminant. C'est seulement dans les situations difficiles que la disponibilité des terres et la capacité de travail jouent un rôle en imposant aux superficies cultivées une limite inférieure à celle qui correspond aux besoins.

La fraction des terres arables qui doit être cultivée pour répondre aux besoins FPSA, s'exprime par le produit de la population totale P et de la superficie jugée nécessaire par personne APSPA (« Area needed to satisfy the Perceived Subsistence needs for Annual crops per Person »), divisé par la superficie des terres arables FA\*G ou FA\*L

$$A \quad FPSA.K = P.K * APSPA.K / (FA * G)$$

Il reste dès lors à déterminer la superficie jugée nécessaire par personne APSPA. Les besoins quotidiens d'un individu sont au Kivu de 2000 kcal (Vis *et al.* 1969) soit 750 000 kcal par an.

Une partie des besoins caloriques de l'individu est fournie par la superficie moyenne sous bananeraie par habitant ANB. Celle-ci a une productivité donnée par ha et par an PB, nous avons donc, en appelant SNP, les besoins caloriques totaux d'un individu et SA (« Subsistence needs for Annual crops ») la partie de ces besoins à couvrir par les cultures vivrières:

$$A \quad SA.K = SNP - ANB * PB.K$$

$$C \quad SNP = 750\,000$$

Si l'on divise les besoins individuels de subsistance à couvrir par les cultures vivrières SA par la norme pour la productivité des cultures vivrières NPA (« Norm for Productivity of Annual crops »), on obtient la norme pour la superficie jugée nécessaire par habitant.

$$A \quad \text{NAPSPA.K} = \text{SA.K/NPA}$$

Nous estimons la norme NPA à 7 000 000 kcal/ha/an; ce chiffre a été justifié antérieurement (cf. chap. I.6).

En réalité, la productivité des cultures vivrières au moment considéré peut être différente de la norme. Par ailleurs, les habitants ne calculent pas leur régime ou leurs besoins en calories. Ils ont certaines coutumes et un certain comportement alimentaire qui peuvent varier selon leur perception des changements.

Notre étude met l'accent sur la dégradation des sols au Kivu et sur les conséquences de cette dégradation telles que perçues par les experts et par les habitants eux-mêmes. Pour en tenir compte, nous avons introduit une notion de productivité relative, ou productivité rémanente, RPA (« Relative Productivity of Annual crops ») qui exprime la production par ha par rapport à la norme NPA. Nous avons considéré que cette productivité relative varie entre 0 et 1. Elle ne pourrait, en effet, dépasser l'unité que si les méthodes d'agriculture s'amélioraient. Or, nous avons admis l'hypothèse fondamentale de l'immuabilité des techniques et des structures rurales.

Si la productivité relative (ou rémanente) égale .5, cela signifie que la productivité à un certain moment égale seulement la moitié de la norme; dès lors, il faut cultiver une superficie deux fois supérieure pour obtenir la même production qu'autrefois.

Les cultivateurs sont conscients du phénomène mais, comme la dégradation est lente, il est évident que l'extension des superficies ne compense pas entièrement la baisse de productivité. Pour tester l'influence de ce facteur, nous avons introduit un coefficient de perception PC (« Perception Coefficient ») qui nous indique dans quelle mesure la compensation théoriquement nécessaire, c'est-à-dire l'inverse de la productivité rémanente RPA, est réalisée. APSPA, la superficie nécessaire pour répondre aux besoins par habitant s'établit alors:

$$A \quad \text{APSPA.K} = \text{NAPSPA}*((I - \text{PC}) + \text{PC}*(1/\text{RPA.K}))$$

#### 3.6.4.

L'ensemble des interrelations exposées ci-avant est représenté au « Dynamo Flow Diagram » du secteur Production, à la figure A.II.15.

On y voit, en bas et à droite, ACB, superficie sous bananiers qui dépend de la population P et de la superficie moyenne sous bananiers par habitant ANB.

La fraction arable FA de la superficie totale ne figure pas dans le diagramme, mais bien la fraction des terres arables qui est disponible pour la culture vivrière, c'est-à-dire FAA. Cette dernière dépend, bien entendu, de FA (non figuré) et de ACB superficie des bananeraies.



FAA, nous l'avons vu ci-avant, est une des trois variables auxquelles est subordonnée la valeur de FCA, fraction des terres arables consacrée annuellement aux cultures vivrières. Les deux autres variables sont MFCA fraction maximale cultivable en fonction des forces physiques de la population et FPSA fraction cultivée en fonction de la perception par la population de ses besoins nutritionnels.

MFCA est figurée dans le secteur inférieur gauche du diagramme. On voit qu'elle est fonction de la force de travail LF exprimée en unités de production (dépendant de la population, compte tenu du coefficient de travail pour personnes âgées) et de la superficie maximale MACLA que peut cultiver une unité de production. MACLA dépend de la norme NMACLA et de l'apport nutritionnel FPC lequel détermine FL, coefficient multiplicateur de la nutrition sur la capacité de travail. Quant à FPC il est déterminé par la superficie consacrée annuellement aux cultures vivrières FCA et par la productivité de ces dernières.

FPSA, fraction cultivée en fonction de la perception par la population de ses besoins nutritionnels, apparaît, dans le haut du diagramme, déterminée par la population P, et par la superficie jugée nécessaire par habitant APSPA. Celle-ci dépend à la fois de la norme NAPSPA et de la productivité rémanente RPA mais est modifiée par le coefficient de perception PC. NAPSPA de son côté dépend de la norme de productivité des cultures vivrières NPA et de SA, besoins nutritionnels par habitant non satisfait par l'apport nutritionnel des bananeraies, autrement dit calculé en fonction de ANB superficie de bananeraies par habitant, de RPB productivité rémanente des bananeraies et de SNP, besoins nutritionnels par habitant.

La fraction des terres arables consacrée annuellement aux cultures vivrières FCA ne peut dépasser aucune des 3 fractions: terres jugées nécessaires, terres disponibles et terres qu'il est possible physiquement de cultiver.

Nous introduisons également la fraction FACA (« Fraction of Available soils Cultivated with Annual crops ») qui exprime le rapport entre FCA, fraction des terres arables totales consacrée annuellement aux cultures vivrières et FAA, fraction des terres arables disponibles pour ces cultures. Cette fraction FACA a l'avantage particulier de représenter la proportion des terres sous cultures et des terres en jachères, élément déterminant en matière de dynamique des sols.

Dans le flow diagram de la figure A.II.15, le rectangle tracé autour de FPC et de FCA signifie que cette partie est plus élaborée dans la figure A.II.14. De même le polygone de RPB, RPA et FACA circonscrit une zone donnant une représentation très simple de la dynamique des sols qui sera traitée plus en détail ci-après.

4. LE SECTEUR DYNAMIQUE DES SOLS

Le flow diagram relatif à ce secteur est représenté à la figure A.II.17.

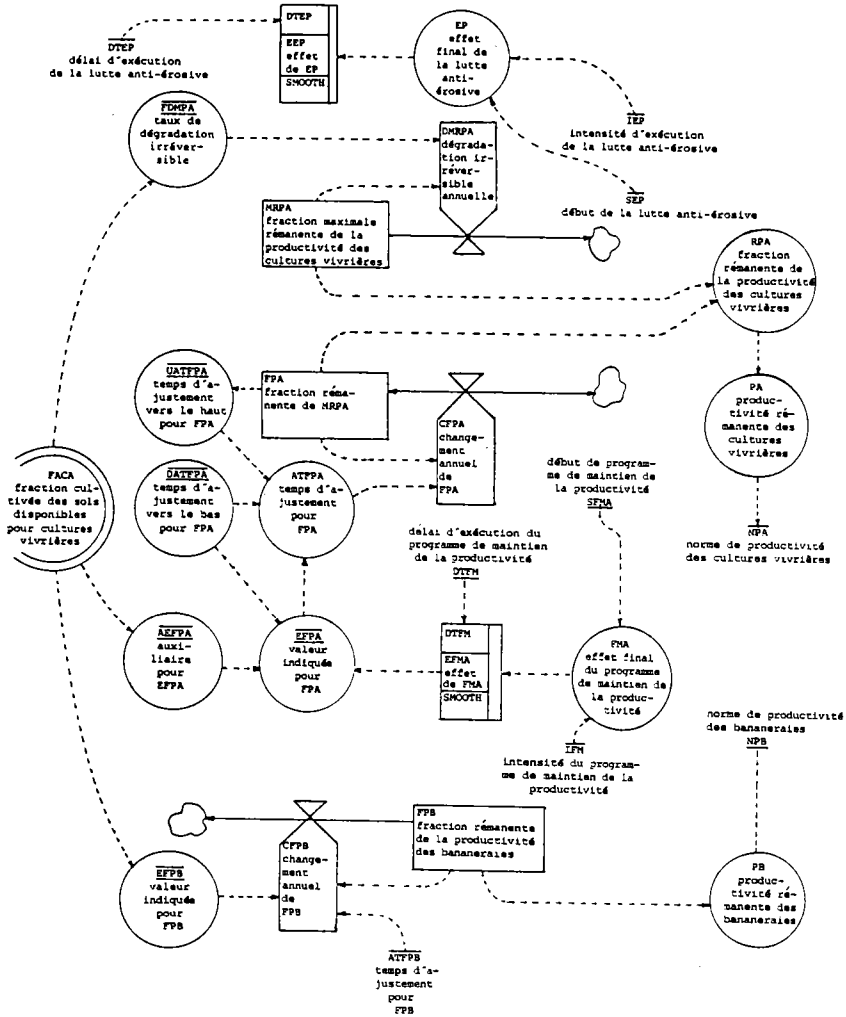


FIG. A.II.17 — Dynamo Flow Diagram du secteur dynamique des sols.

4.1. Considérations générales

La productivité résistante des cultures vivrières RPA que nous avons introduite et la productivité résistante des bananeraies RPB dont question plus loin sont en relations complexes avec le phénomène de dégradation des sols analysé ci-après.

Le Kivu montagneux est un territoire de collines. Les sols sont de qualité très bonne à bonne, mais ils sont situés sur les pentes et les sommets de collines parfois très escarpées. L'agriculture coutumière pratique la jachère pour restaurer la fertilité du sol. Les cultivateurs ignorent la prévention de l'érosion.

Sur les terres en jachère, longue ou courte, le bétail pâture, mais, comme la densité de la population est élevée, les terres sont presque totalement cultivées de sorte que le bétail est concentré sur de trop petites superficies où la surpécoration entrave le rôle régénérateur de la jachère.

Sauf en ce qui concerne les terres sous bananeraie, la dégradation des sols dépend directement de FACA, la fraction annuellement cultivée des terres arables disponibles pour les cultures vivrières.

$$A \quad FACA.K = FCA.K/FAA.K,$$

On voit que FACA exprime le rapport entre FCA, surface des terres effectivement cultivées, et FAA, surface des terres disponibles. Or, les terres disponibles étant soit en cultures soit en jachère, FACA exprime également une relation entre la durée de la culture a et la durée de la jachère b

$$FACA = a/(a + b)$$

En agriculture extensive, plus la fraction cultivée est haute, plus le taux de dégradation est élevé. En effet, si la fraction cultivée est haute, le temps de jachère est réduit par rapport au temps de culture. La reconstitution du couvert végétal est imparfaite et la régénération de la productivité déficiente. De plus, les possibilités de pâturage sont réduites tant en surface qu'en production d'unités fourragères par ha et la surpécoration s'accroît rapidement. Il en résulte un effet direct sur la productivité des cultures vivrières et un effet indirect sur la productivité des bananeraies. Ces effets sont analysés ci-après.

#### 4.2. *Dégradation de la bananeraie*

L'analyse du phénomène est ici relativement simple. La culture des bananiers est intensive et permanente; toutefois la productivité des bananiers baisse légèrement quand la fraction annuellement cultivée des terres disponibles pour les cultures vivrières FACA est tellement haute qu'il n'est plus possible de posséder du bétail, faute de jachères pâturables. Ceci signifie que l'apport de fumure animale cesse. Or, en l'absence de fumure animale, la bananeraie accuse un niveau de fertilité inférieur à celui qui est considéré comme normal ou «initial» dans le système rural traditionnel.

La productivité étant fonction de la fumure, celle-ci étant fonction de l'importance du cheptel et cette dernière du pâturage disponible, en l'occurrence des jachères, nous exprimons la productivité «rémanente», par rapport à la productivité initiale, en fonction de FACA, par le graphique représenté à la figure A.II.18 et l'équation:

$$\begin{aligned} A \quad EFPB.K &= TABHL(TEFPB, FACA.K, .5, 1, .25) \\ T \quad TEFPB &= 1/.85/.7 \end{aligned}$$

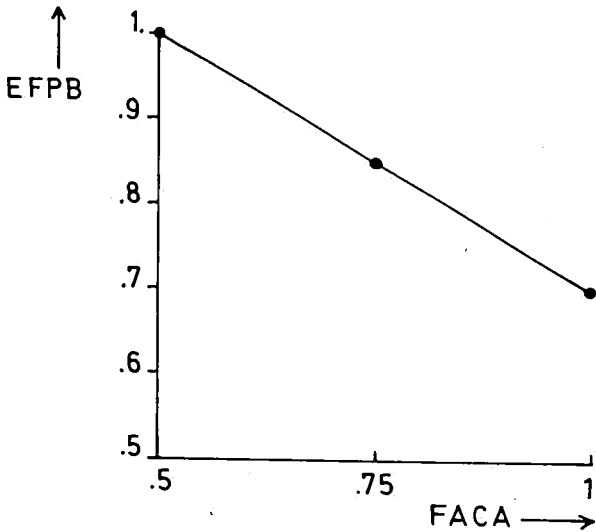


FIG. A.II.18. — Valeur indiquée pour la fraction rémanente de la productivité des bananeraies (sans dimension).

(FACA = Fraction cultivée des sols disponibles pour cultures annuelles, sans dimension.)

Aussi longtemps donc que FACA reste inférieure à .5 (c'est-à-dire que jachère = culture), nous estimons que la productivité initiale de la bananeraie se maintient.

Aux valeurs croissantes de FACA correspondent des productivités rémanentes EFPB (« Expected Fraction of normal Productivity for Bananas ») décroissantes. Il s'agit toutefois de productivités rémanentes « indiquées » et non pas de productivités rémanentes effectives FPB (« Fraction of normal Productivity for Bananas »). La différence résulte du fait que l'ajustement de la production réellement obtenue au niveau théorique de fertilité correspondant à la fumure disponible nécessite quelques années d'épuisement progressif de la fertilité accumulée. La productivité effective tend à rejoindre la productivité rémanente indiquée dont elle se rapproche annuellement d'un certain échelon. A chaque instant, il y a une différence (EFPB-FPB) entre les fractions indiquée et effective de la productivité rémanente.

Si le temps d'ajustement nécessaire est désigné par ATFPB (« Adjustment Time for FPB »), l'échelon annuel d'ajustement égale la différence mentionnée plus haut, divisée par le temps d'ajustement ATFPB. Une valeur 10 pour celui-ci entraîne un échelon annuel égal à 10% de la différence (EFPB-FPB).

Si l'on écrit les équations, on notera que la fraction rémanente effective de la productivité (FPB) change selon un échelon annuel CFPB (« Rate of Change of FPB »).

Initialement, c'est-à-dire avant déclenchement du processus de dégradation, la fraction rémanente de la productivité est égale à 1; on peut donc écrire:

$$\begin{aligned} L \quad & \text{FPB.K} = \text{FPB.J} + (\text{DT})(\text{CFPB.JK}) \\ N \quad & \text{FPB} = \text{FPBI} \\ C \quad & \text{FPBI} = 1 \\ R \quad & \text{CFPB.KL} = (\text{EFPB.K} - \text{FPB.K})/\text{ATFPB} \\ C \quad & \text{ATFPB} = 10 \end{aligned}$$

La productivité PB (« Productivity of Bananas ») de la bananeraie égale le produit de la norme NPB (« Norm for Productivity of Bananas ») et de la fraction rémanente effective de la productivité FPB.

$$A \quad \text{PB.K} = \text{NPB} * \text{FPB.K}$$

On calcule la norme pour la productivité des bananiers NPB à partir de la production moyenne en kg par ha convertie en calories.

Avec 12 500 kg/ha et par an, on obtient environ 1 000 000 kcal/ha/an, le facteur de conversion étant 70 kcal/kg.

$$C \quad \text{NPB} = 1\,000\,000$$

### 4.3. Dégradation des terres consacrées aux cultures vivrières

#### 4.3.1. Considérations générales. Rôle essentiel du rapport culture/jachère, c'est-à-dire de FACA

Les cultures vivrières ont une importance beaucoup plus grande que la bananeraie et les mécanismes décrits ci-dessous y présentent une gravité et une complexité de loin supérieures. On s'accorde généralement sur le fait qu'un accroissement relatif des superficies sous cultures, sans apport d'engrais et sans protection contre l'érosion, entraîne inévitablement une perte de productivité. Les avis des experts sont partagés sur l'intensité et le type de dégradation. Il existe une dégradation réversible associée à un épuisement chimique des sols entraînant, d'une part, une carence en éléments minéraux nécessaires à la nutrition des plantes et, d'autre part, un appauvrissement en matières organiques conduisant à une dégradation physique par altération de la structure.

Il existe également des dégradations irréversibles dont la plus fréquente est de loin l'érosion, superficielle ou ravinante, caractérisée par l'enlèvement, par l'eau ou le vent, de tout ou partie de la couche arable du sol. Ce phénomène est déclenché ou accentué par les effets mentionnés ci-avant de la dégradation réversible.

Ces deux formes de dégradation existent au Kivu. Leur intensité dépend de divers facteurs soit naturels: intensités pluviales, déclivité des terres, nature des sols, ..., soit anthropiques: déboisement, surpécoration, fraction cultivée des terres arables, ...

Dans la mesure où nous étudions des phénomènes globaux et notamment les relations de l'homme et du milieu, nous avons rattaché l'ensemble du phénomène au rapport culture/jachère, c'est-à-dire à FACA, fraction annuellement cultivée des terres arables disponibles. Celle-ci conditionne, en effet, la durée de la jachère, l'extension des cultures sur les pentes, la diminution du couvert végétal, etc.

Le problème est de quantifier l'influence de cette fraction cultivée sur la forme et la mesure de la dégradation. La première difficulté est de séparer les effets réversibles et irréversibles. Les experts consultés ont estimé que la dégradation réversible seule n'était pas très importante et que de toute façon, après un certain temps, elle entraînait, à son tour, des effets irréversibles. C'est donc sur la dégradation irréversible que nous avons mis l'accent. L'avis des experts a divergé sur les taux de dégradation et l'importance de leurs effets; nous avons conservé diverses hypothèses et simulé la sensibilité du modèle aux hypothèses extrêmes.

#### 4.3.2. *Dégradation réversible et dégradation irréversible*

Pour clarifier cette distinction, nous caractériserons trois niveaux différents de la productivité.

Le premier est la productivité des cultures à l'époque où les terres sont nombreuses et les jachères longues. Cette productivité est prise comme norme NPA (« Norm for Productivity of Annual crops ») et tous les calculs ultérieurs se référeront en pourcentage à cette norme. Quand la productivité a la valeur de la norme, elle est égale à 100%. Actuellement, en 1975, une certaine dégradation est patente, la productivité est inférieure à la norme: la productivité rémanente RPA nous indique quel pourcentage de la norme subsiste.

Ce second niveau de productivité, inférieure à la norme, est la résultante de l'accumulation des effets réversibles et irréversibles de la dégradation des sols.

Pour dissocier les effets réversibles et irréversibles, voyons comment se comporte, lorsqu'on cesse de le cultiver, le sol dont la productivité rémanente, par l'effet combiné des dégradations réversible et irréversible, est descendue à ce second niveau RPA. Après un temps de jachère plus ou moins long, la productivité rémanente remontera à un troisième niveau, supérieur au second, mais toujours inférieur au premier, niveau qu'elle ne pourra dépasser et que nous appellerons productivité rémanente maximale MRPA (« Maximum for RPA »).

La différence entre 1 (soit 100% de la norme) et MRPA représente la dégradation irréversible. La différence entre la productivité rémanente maximale (MRPA) et la productivité rémanente (RPA) représente la dégradation réversible, ce qui se schématise comme suit:

dégradation irréversible	{	1	NPA	productivité initiale (Norme)
dégradation réversible			MRPA	productivité rémanente maximale
		0	RPA	productivité rémanente

Si nous exprimons la productivité rémanente RPA en un pourcentage de la productivité rémanente maximale MRPA, nous dégageons la fraction rémanente de la productivité maximale ou FPA (« Fraction of MRPA which is left »)

$$A \quad RPA.K = MRPA.K * FPA.K$$

Finalement, les variations de MRPA par rapport à la norme NPA décrivent la dégradation irréversible et les variations FPA par rapport à MRPA la dégradation réversible.

En effet, il est possible qu'un champ caractérisé par une certaine productivité rémanente RPA et dont la fraction FPA de MRPA est inférieure à l'unité, soit laissé en jachère et que la productivité rémanente augmente et atteigne finalement sa valeur maximale MRPA qui correspond à  $FPA = 1$ .

L'équation de RPA nous donne donc la possibilité de discuter séparément les dégradations réversible et irréversible. Mais auparavant, il convient de terminer l'exposé de la productivité des cultures vivrières et de faire observer tout d'abord que les raisonnements qui précèdent ne sont valables que pour un système tel celui du Kivu, caractérisé par l'économie de subsistance et la production d'auto-consommation, dans lequel le recours aux techniques onéreuses de reconstitution de la fertilité sont hors de portée du cultivateur et dans lequel, de plus, la réduction relative du cheptel bovin écarte toute possibilité de recours sur grande échelle, à une fumure animale.

#### 4.3.3. Productivité rémanente

La productivité rémanente RPA étant exprimée en pourcentage de la norme pour la production NPA, la production effective PA (« Productivity of Annual crops ») est:

$$A \quad PA.K = NPA * RPA.K$$

Rappelons que RPA couvre à la fois la dégradation réversible et irréversible, comme il ressort de la figure A.II.19 ci-dessous:

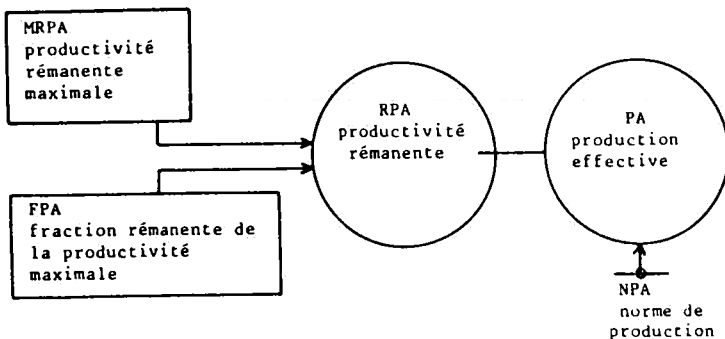


FIG. A.II.19.

Pour évaluer la norme NPA, on a utilisé diverses estimations de la production d'un hectare type où sont cultivés les produits coutumiers (cf. 1<sup>re</sup> partie, tabl. 4, page 46).

Pour des exploitations familiales d'une superficie moyenne de 0.7 ha, la norme de production serait d'environ 5 000 000 kcal, la production calorifique de 1 ha étant de 7 000 000 kcal. Il s'agit d'un simple ordre de grandeur pour la norme qui pourra faire ultérieurement l'objet de simulations.

#### 4.3.4. Calcul de la dégradation irréversible

La mesure de la dégradation irréversible nous est donnée par MRPA, pourcentage maximum de la norme que peut atteindre la productivité rémanente moyennant un usage optimal des sols. Ce pourcentage ne peut que diminuer, reflétant le caractère irréversible de la dégradation.

Appelons DMRPA (« Degradation rate of MRPA ») la variation de la productivité rémanente maximum qui mesure la dégradation irréversible. Elle ne peut être que négative. Initialement, la productivité rémanente maximale est égale à 1 et l'on peut écrire:

$$\begin{aligned} L \quad & \text{MRPA.K} = \text{MRPA.J} + (\text{DT})(\text{DMRPA.JK}) \\ N \quad & \text{MRPA} = \text{MRPAI} \\ C \quad & \text{MRPAI} = 1 \end{aligned}$$

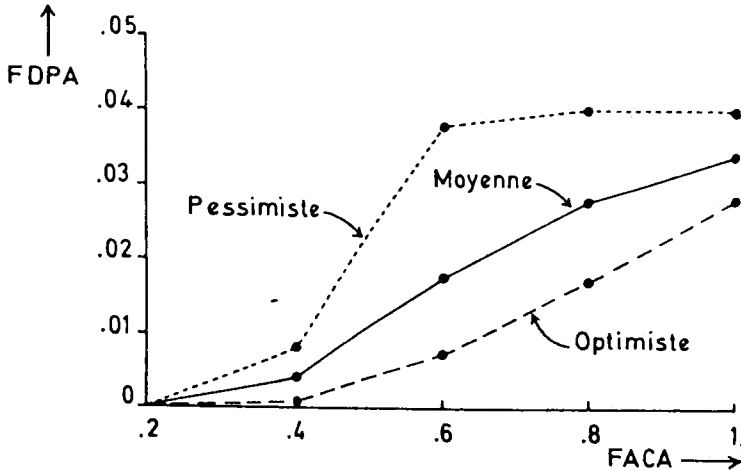


FIG. A.II.20. — Mesure de la dégradation irréversible du sol exprimée en fraction de la productivité rémanente maximale.

(FACA = Fraction annuellement cultivée des sols disponibles pour cultures vivrières, sans dimension.)

Nous estimons nulle la dégradation des sols en 1920 (la valeur initiale de la productivité rémanente maximale est 1). On émet l'hypothèse que DMRPA, mesure de la dégradation irréversible, est proportionnelle à la productivité



rémante maximale MRPA. On peut considérer, en effet, que la perte en fertilité est proportionnelle à la fertilité qui subsiste. Le facteur de proportionnalité FDMPA (« Fractional DMRPA ») est fonction de la fraction cultivée et cette fonction s'exprime par le graphique de la figure A.II.20 et par l'équation:

$$\begin{aligned} R & \text{ DMRPA.KL} = - \text{FDMPA.K} * \text{MRPA.K} \\ A & \text{ FDMPA.K} = \text{TABHL}(\text{TFDPA}, \text{FACA}, .2, 1, .2) \end{aligned}$$

On possède peu de données précises sur les variations de ce facteur de proportionnalité et l'opinion des spécialistes n'a pu s'accorder. Nous avons donc fait les hypothèses extrême et moyenne suivantes<sup>(1)</sup>:

$$\begin{aligned} T & \text{ TFDPA} = 0/0/.008/.017/.029 \text{ optimiste} \\ T & \text{ TFDPA} = 0/.004/.018/.028/.034 \text{ moyenne} \\ T & \text{ TFDPA} = 0/.008/.028/.04/.04 \text{ pessimiste} \end{aligned}$$

#### 4.3.5. Limitation de la dégradation irréversible par contrôle de l'érosion

La lutte anti-érosive est souvent proposée dans la littérature consacrée au Kivu comme alternative à la situation actuelle. Nous avons donc inclus dans le modèle la possibilité de simuler les effets d'un tel programme.

L'effet de la lutte anti-érosive EEP (« Effectiveness of Erosion Prevention ») se manifeste par une baisse du facteur de proportionnalité FDMPA se traduisant par moins de dégradation irréversible pour une même fraction cultivée des terres arables disponibles. EEP est donc le facteur avec lequel diminue la dégradation d'où l'équation, modifiée en conséquence, du facteur de proportionnalité:

$$A \text{ FDMPA.K} = \text{TABHL}(\text{TFDPA}, \text{FACA}, .2, 1, .2) * \text{EEP}$$

Les effets d'une politique anti-érosive ne sont pas immédiats. Après un début de réalisation, une année donnée SEP (« Start of Erosion Prevention ») le programme avance lentement, puis s'accélère et enfin ralentit dans ses effets vers la fin.

Le délai d'exécution du programme DTEP (« Delay Time for Erosion Prevention ») est estimé entre 20 et 30 ans.

L'intensité de la lutte anti-érosive IEP (« Intensity of Erosion Prevention ») est telle que 1-IEP est le facteur avec lequel diminue la dégradation irréversible. Cet effet est représenté graphiquement à la figure A.II.21.

#### 4.3.6. Calcul de la dégradation réversible

Comme nous l'avons fait pour la bananeraie sub. 4.2, nous distinguons ici une productivité rémanente effective FPA et une productivité rémanente

<sup>(1)</sup> Les simulations montrées dans la deuxième partie de cette étude sont faites avec les hypothèses moyennes.

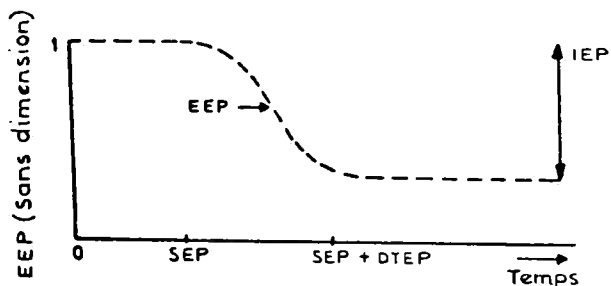
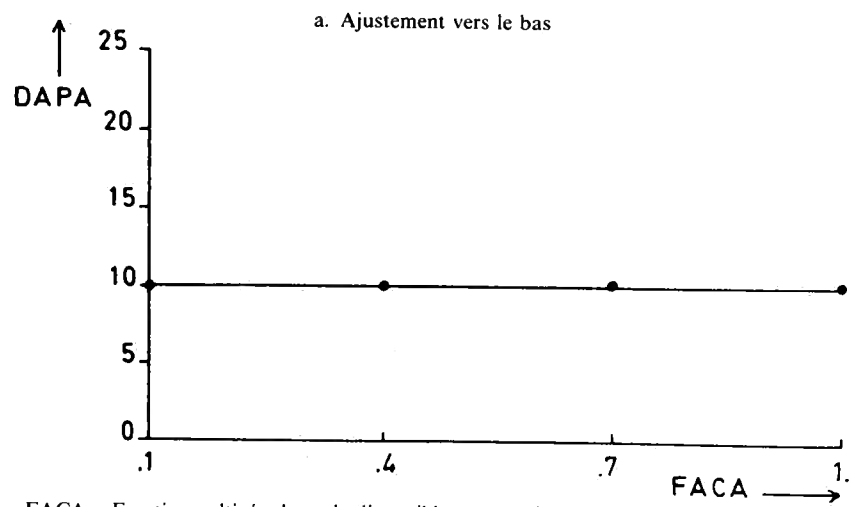
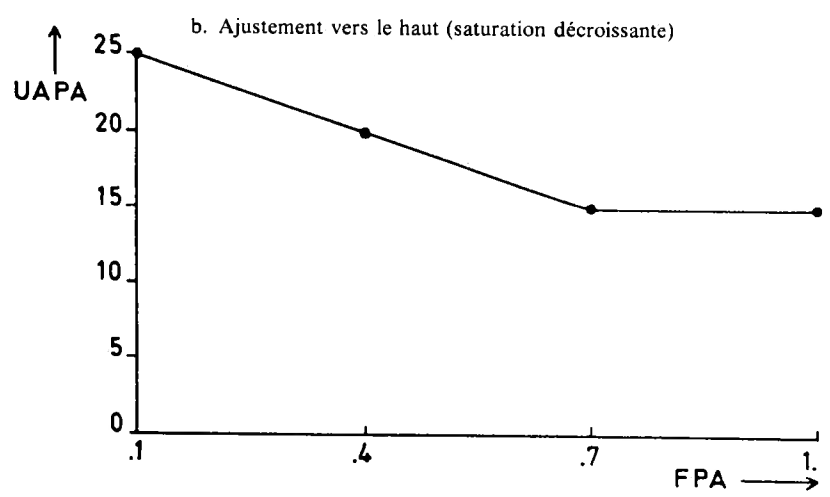


FIG. A.II.21. — Effet de la lutte anti-érosive en fonction du temps. (EEP = effet de la lutte anti-érosive; SEP = début de la lutte a.e.; DTEP = temps d'exécution de la lutte a.e.; IEP = intensité de la lutte a.e.)



FACA = Fraction cultivée des sols disponibles pour cultures annuelles (sans dimension)



FPA = Fraction rémanente de la productivité maximale (sans dimension).

FIG. A.II.22. — Temps d'ajustement de la productivité rémanente

indiquée EFPA (« Expected FPA »); celle-ci est fonction de la fraction cultivée des terres arables disponibles FACA et de l'efficacité d'un éventuel programme de maintien de la fertilité EFMP (« Effectiveness of Fertility Maintenance Programme »). La productivité rémanente effective FPA s'ajuste à sa valeur indiquée EFPA avec un temps d'ajustement ATFPA, per échelons successifs CFPA (« rate of Change of FPA »).

Il convient de rappeler ici à nouveau qu'il s'agit d'agriculture extensive exploitant la fertilité naturelle du sol périodiquement régénérée par la jachère. Un rapport adéquat entre temps de culture et temps de jachère, autrement dit un niveau satisfaisant de la fraction cultivée FACA assure le maintien d'une productivité rémanente FPA stable. Si la pression démographique ne permet pas le maintien de ce rapport, la productivité tend à s'établir à un niveau inférieur. Ce niveau toutefois n'est pas atteint au moment où est prise la décision d'allonger le temps de culture mais après une ou plusieurs répétitions du cycle de culture (cf. I.6, cycle biennal du Bushi riverain).

Les équations sont présentées sans commentaires dans la mesure où le raisonnement a été exposé précédemment.

$$\begin{aligned} L \quad & FPA.K = FPA.J + (DT)(CFPA.JK) \\ N \quad & FPA = FPAI \\ C \quad & FPAI = 1 \\ R \quad & CFPA.KL = (EFPA.K - FPA.K/ATFPA.K) \end{aligned}$$

La détermination de la productivité rémanente indiquée EFPA et du temps d'ajustement ATFPA est plus complexe que pour la bananeraie.

Il faut, en fait, distinguer un temps d'ajustement vers le bas et un temps d'ajustement vers le haut. Le premier concerne le délai mis par la productivité rémanente effective pour s'aligner sur la productivité rémanente indiquée

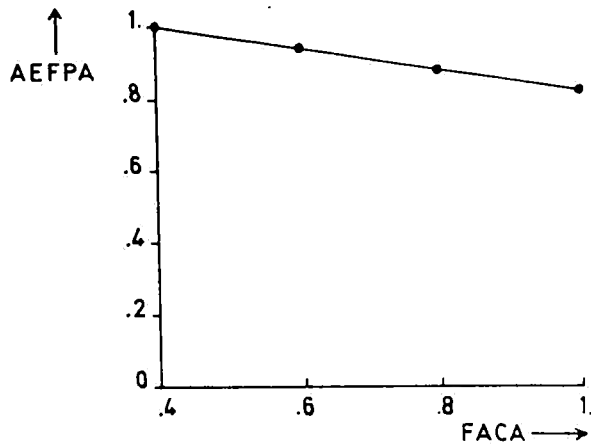


FIG. A.II.23. — Auxiliaire pour la valeur indiquée de la fraction rémanente de la productivité relative maximale. (FACA = Fraction cultivée des sols disponibles pour cultures annuelles, sans dimension.)

correspondant au niveau atteint par la « saturation » des terres arables. Nous le désignerons par DAFPA (« Downward Adjustment time for FPA »); il est fonction de FACA. Ce temps d'ajustement est bref; il s'applique au cas où les sols continuent à se dégrader. Dans ce cas, le taux de dégradation s'accélère, mais, en l'absence de données précises, nous nous bornons à donner à DAFPA la valeur constante de 10 ans (fig. A.II.22).

$$\begin{aligned} A \quad & \text{DAFPA.K} = \text{TABHL}(\text{TDPA}, \text{FACA.K}, .2, 1, .2) \\ T \quad & \text{TDPA} = 10/10/10/10 \end{aligned}$$

Le second concerne le délai mis par la productivité rémanente effective à rejoindre un niveau de productivité supérieur correspondant à une moindre saturation, dans l'hypothèse où une pression démographique moindre permettrait de recouvrir une partie de la fertilité perdue. Nous le désignons par UAFPA (« Upward Adjustment time for FPA »). La restauration de la fertilité, en agriculture extensive, est toujours plus lente que sa dégradation et est d'autant plus lente que le niveau de dégradation atteint est plus bas. Le temps d'ajustement UAFPA est donc plus long que 10 ans. Nous avons adopté une durée de 25 ans pour les sols dégradés, réduite à 15 ans pour les sols à haute fertilité (fig. A.II.22).

$$\begin{aligned} A \quad & \text{UAFPA.K} = \text{TABHL}(\text{TUAPA}, \text{FPA.K}, .1, 1, .3) \\ T \quad & \text{TUAPA} = 25/20/15/15 \end{aligned}$$

De la sorte, ATFPA, qui est le temps d'ajustement de FPA, est égal à DAFPA quand  $\text{FPA} \geq \text{EFPA}$ , mais est égal à UAFPA quand  $\text{FPA} < \text{EFPA}$ . Ceci s'exprime par l'équation (technique) ci-dessous:

$$A \quad \text{ATFPA.K} = \text{FIFGE}(\text{UAFPA.K}, \text{DAFPA.K}, \text{EFPA.K}, \text{FPA.K})$$

Pour représenter la productivité rémanente indiquée EFPA, considérons d'abord une situation simple, c'est-à-dire sans envisager un programme de maintien de la productivité.

Nous introduisons une valeur auxiliaire AEFPA (« Auxiliary for EFPA ») pour la fraction indiquée EFPA quand il n'y a pas de programme de maintien de la productivité. La dégradation réversible des sols est moins importante que l'irréversible, mais les effets de l'une peuvent entraîner l'autre. Nous prenons comme limite de la dégradation réversible  $\pm 20\%$ , c'est-à-dire qu'au-delà est entamé un processus irréversible. En deçà, la productivité rémanente indiquée AEFPA est une fonction linéaire de la fraction cultivée FACA (fig. A.II.23).

$$\begin{aligned} A \quad & \text{AEFPA.K} = \text{TABHL}(\text{TEFPA}, \text{FACA.K}, .4, 1, .2) \\ T \quad & \text{TEFPA} = 1/.94/.88/.82 \end{aligned}$$

Introduisons à présent un programme de maintien de la productivité des sols. Si ce programme avait 100% d'efficacité, la fraction rémanente de la productivité FPA aurait une valeur maximale MEFPA (« Maximum for EFPA »).

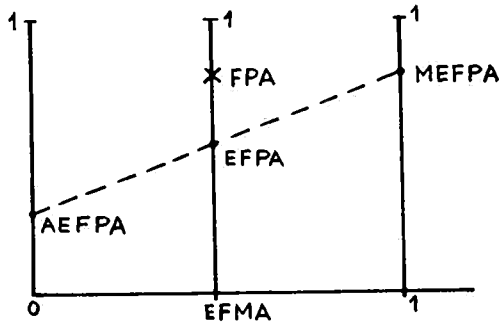


FIG. A.II.24.

Si l'on introduit l'efficacité du programme EFMA («Effectiveness of Fertility Maintenance for Annual crops») avec des valeurs de 0 et 1, la productivité rémanente indiquée EFPA est la moyenne entre une valeur MEFPA quand le programme est effectif à 100% et une valeur AEFPA quand le programme a une efficacité nulle; le poids relatif des 2 facteurs est EFMA, pour la valeur MEFPA, et 1-EFMA pour AEFPA (fig. A.II.24).

- A  $EFPA.K = EFMA.K * MEFPA + (1 - EFMA.K) * AEFPA.K$   
 C  $MEFPA = 1$

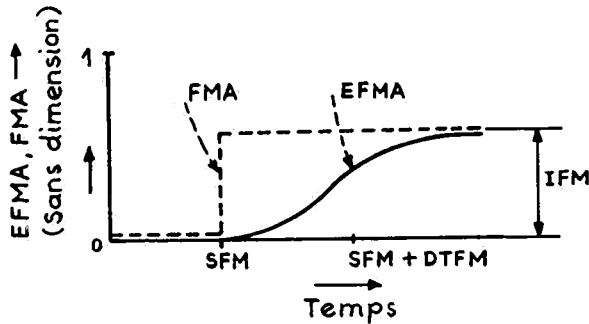


FIG. A.II.25.

Pour déterminer l'efficacité du programme EFMA, nous utilisons la même démarche que pour le programme de lutte contre l'érosion. Lorsqu'on entame un programme d'action étalé sur 20 ans par exemple, l'efficacité reste faible initialement puis tend vers 1 selon une courbe en «S» (fig. A.II.25).

- A  $EFMA.K = DELAY3(FMA.K, DTFM)$   
 A  $FMA.K = STEP(IFM, SFM)$   
 C  $IFM = 0$   
 C  $SFM = 1980$   
 C  $DTFM = 20$

Ici DTFM est le temps d'exécution du programme. FMA est la valeur finale de l'efficacité du programme. IFMA est l'intensité de l'action; SFM indique l'année de départ. Avec 1 comme valeur pour l'intensité IFMA et les autres valeurs inchangées, l'efficacité EFMA prend une allure en « S ».

## 5. APPLICATION DU MODÈLE.

### SUBDIVISION DE LA RÉGION EN DEUX ZONES.

#### 5.1 *Opportunité de la Subdivision*

Les secteurs « Dynamique des Sols » et « Production » intégrés avec le secteur « Population », donnent la description d'un modèle où interagissent population, techniques agricoles et dynamique des sols.

Ce modèle a été utilisé en premier lieu pour simuler l'évolution du Kivu montagneux envisagé comme une seule région homogène, où toutes les terres sont d'égale qualité moyenne et où la population est plus ou moins uniformément répartie. Or, une telle approximation n'est pas exacte. Elle conduit à dissimuler des problèmes essentiels. Elle cache, par exemple, le danger immédiat de surpopulation sur les sols de plus haute qualité (Kabare et Masisi) qui risque d'entraîner la dégradation totale et irréversible de ces sols et l'émigration forcée vers d'autres régions.

L'attention s'est portée sur ce danger, le problème se posant comme suit: comment, dans l'immédiat, prévenir le développement d'une situation catastrophique sur les bonnes terres et gagner suffisamment de temps pour rechercher des solutions à long terme? Les méthodes envisagées sont avant tout des programmes de lutte contre l'érosion et de conservation des sols, mais, sur le plan de la population, il convient de considérer l'émigration. Pour ce dernier point, il est particulièrement important de distinguer deux zones, l'une avec des sols de haute qualité et densément peuplée, et l'autre avec des sols de qualité moyenne mais moins peuplée, et d'introduire une interaction entre ces deux zones.

#### 5.2. *Définition et Superficie des deux zones*

Dans le Kivu montagneux, les techniques agricoles et les principaux mécanismes démographiques ne changent pas de manière fondamentale d'une zone à l'autre, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de construire de nouveaux modèles spécifiques pour chaque zone; il convient cependant d'en déterminer les limites précises et de quantifier les variables dans chaque cas.

C'est à Kabare et à Walungu, au Sud-Kivu, que le danger de saturation est notoirement le plus grand. Au Nord-Kivu, la région de Masisi est la plus menacée. La situation de ces zones tient à ce que leurs sols sont de qualité supérieure, basaltes pour la première et cendrées volcaniques pour la seconde.

En dehors de ces zones volcaniques, les sols du Kivu montagneux sont issus de schistes, de quartzites et de granites, ce qui signifie une moindre fertilité et une plus grande érodabilité. Ils sont, en général, moins densément peuplés, même si, depuis quelques années, les différences de densité entre les deux zones s'atténuent.

Les basaltes et les cendrées volcaniques forment schématiquement une zone que nous appelons «G» (Good soils), les autres sols sont rangés dans la zone «L» (Less good soils).

Les superficies des deux zones ont été évaluées d'après la carte des sols de Sys *et al.* (1961): les bons sols représentent une superficie d'environ 6000 km<sup>2</sup> sur les 34340 km<sup>2</sup> constituant le Kivu montagneux. La fraction FSG («Fraction Soils which are Good») de la superficie totale TS («Total Surface») représente donc  $\pm 20\%$ . D'où les équations suivantes dans lesquelles les surfaces sont exprimées en hectares:

$$\begin{aligned} N \quad G &= FSG * TS \\ C \quad FSG &= 0.2 \\ C \quad TS &= 3434.000 \\ N \quad L &= (1 - FSG) * TS \end{aligned}$$

Rappelons que toutes les variables relatives à la zone des «bons sols» se terminent par un «G» dans les équations et que le «L» fait référence à la zone aux sols de qualité moindre. Par exemple, «PG» dans une équation est la population totale sur «G» et «PL», celle sur «L».

### 5.3. Paramètres démographiques

Pour les principaux paramètres démographiques sur «G» et «L», les interactions comme celles entre la nutrition par habitant (FPCG et FPCL) et l'espérance de vie à la naissance (LEG et LEL) sont les mêmes qu'auparavant. La distribution initiale de la population en classe d'âge demeure inchangée, dans la mesure où la natalité et la mortalité ne diffèrent pas non plus. La seule distinction pertinente entre les 2 zones concerne la densité.

Selon nos estimations, basées sur le recensement démographique de 1970, 1800000 personnes étaient établies au Kivu montagneux dont environ 1200000 en zone «G» et 600000 en zone «L» soit un rapport de deux à un. Une analyse de la littérature permet d'avancer qu'historiquement ce rapport a peu varié. Il n'y avait pas encore de raison évidente d'émigrer d'une zone vers l'autre dans la mesure où la terre était abondante. La population habitant la zone «L» n'y avait pas été amenée par la recherche de terre au départ d'une zone surpeuplée.

Nous avons donc admis que, en 1920, les populations des zones G et L étaient également dans le rapport de 2 à 1.

Il convient cependant d'évaluer sommairement les effectifs de la population initiale en 1920 (PIG et PIL). En se basant sur les premiers recensements sérieux de l'administration belge (1922, 1928), on peut avancer une valeur de

750 000 pour l'ensemble du Kivu montagneux, soit 500 000 en G et 250 000 en L. Il apparaît que ces hypothèses coïncident de manière raisonnable avec le développement historique. Ceci donne l'équation:

$$\begin{array}{l} C \text{ PIG} = 500\,000 \\ C \text{ PIL} = 250\,000 \end{array}$$

#### 5.4. Paramètres de la production et de la dynamique des sols

Les différences dans ces secteurs concernent la productivité des sols et l'érodabilité des terres. Selon les estimations des experts, la productivité annuelle moyenne par ha dans la zone L (sols de moindre qualité) peut être estimée à 0,7 de celle de la zone G. Les paramètres correspondants dans le modèle sont les normes pour la productivité des cultures annuelles NPAG et NPAL et pour la productivité de la bananeraie NPBG et NPBL. Le rapport entre les normes de productivité pour l'une et l'autre zone est appelé RQLQG («Ratio of the Quality of L to the Quality of G»).

$$\begin{array}{l} N \text{ NPBL} = \text{RQLQG} * \text{NPBG} \\ N \text{ NPAL} = \text{RQLQG} * \text{NPAG} \\ C \text{ RQLQG} = 0,7 \end{array}$$

D'autres valeurs pour RQLQG seront testées ultérieurement (0,6 et 0,8). La valeur de la norme de production des cultures annuelles et de la bananeraie en zone G a été discutée précédemment.

Les conséquences d'une différence de qualité des sols sont importantes. Les superficies cultivées doivent être plus grandes sur les moins bons sols pour atteindre la même production que sur les bons sols; et comme l'érosion est une fonction de la pression sur les terres, le danger devient sensible plus tôt, d'autant qu'ici l'érodabilité des sols est plus grande.

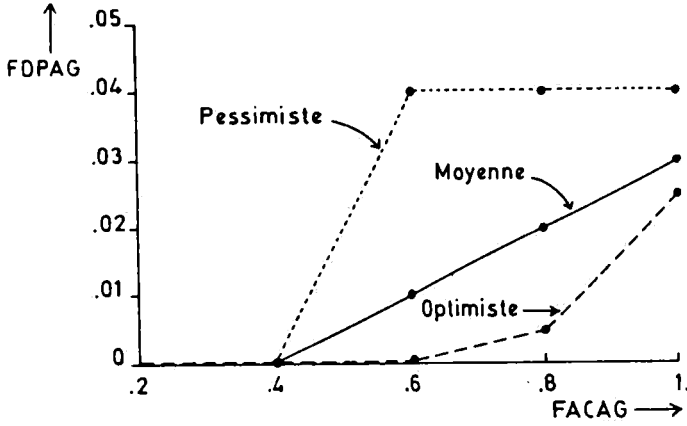
Les taux de dégradation — selon des hypothèses fortes et moyennes correspondant aux avis des spécialistes — sont différents pour l'une et l'autre zone. Ils sont représentés par les équations suivantes et par le graphique de la figure A.II.26.

$$\begin{array}{l} T \text{ TFDPAG} = 0/0/0/.005/.025 \text{ optimiste} \\ T \text{ TFDPAG} = 0/0/.01/.02/.03 \text{ moyenne} \\ T \text{ TFDPAG} = 0/0/.02/.04/.04 \text{ pessimiste} \\ T \text{ TFDPAL} = 0/0/.01/.02/.03 \text{ optimiste} \\ T \text{ TFDPAL} = 0/.005/.02/.03/.035 \text{ moyenne} \\ T \text{ TFDPAL} = 0/.01/.03/.04/.04 \text{ pessimiste} \end{array}$$

La dégradation réversible est relativement semblable à ce qu'elle était précédemment dans le cas d'une région supposée homogène.

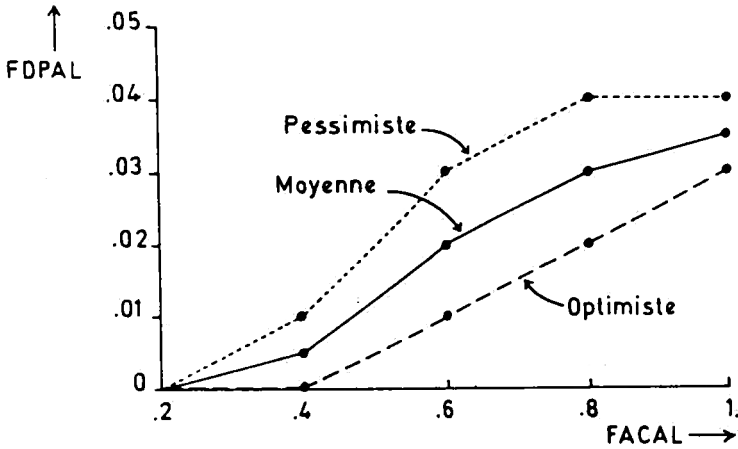


a. en zone G (bons sols).



FACAG = Fraction cultivée des sols disponibles par cultures annuelles sur bons sols.

b. en zone L (moins bons sols).



FACAL = Fraction cultivée des sols disponibles pour cultures annuelles sur sols moyens.

FIG. A.II.26a et b. — Mesure de la dégradation irréversible du sol exprimée en fraction de la productivité rémanente maximale.

### 5.5. *Les interactions entre les deux zones*

Dans une économie d'auto-subsistance, les échanges de produits vivriers sont limités. Le commerce à longue distance n'existe que pour les biens précieux. La seule interaction entre les deux zones est la migration.

Nous envisageons deux sortes de migration. L'une est celle des jeunes adultes, chassés du domaine familial par l'exiguïté des terres, qui cherchent des régions moins peuplées. Historiquement ces éclatements du noyau familial ont toujours existé, quoique sans changement de zone.

L'autre migration concerne des groupes familiaux entiers qui fuient un terroir menacé par la famine. Là aussi, le phénomène s'est produit historiquement à plusieurs reprises (COLLE 1937, CUYPERS 1970, MOELLER 1936).

Dans l'un et l'autre cas la migration s'établit au départ de la zone densément peuplée vers la zone où existent de larges disponibilités de terre quand bien même la fertilité des sols y serait moindre.

En l'occurrence le mouvement s'établit de la zone G vers la zone L. Il ne peut s'inverser qu'au terme d'une évolution catastrophique telle celle à laquelle nous a conduits la simulation n° 4 (cf. II.3).

Pour ne pas compliquer les choses, nous nous sommes limités dans le modèle à la migration de G vers L.

Nous interrogerons le modèle sur l'ampleur des migrations de G vers L qui seraient nécessaires pour prévenir une situation grave et irréversible en G et sur la possibilité de gagner ainsi le temps requis pour établir des solutions permanentes.

#### 5.5.1. *Migration des jeunes adultes*

Par hypothèse, nous ne distinguons pas entre hommes et femmes et nous fixons l'âge de la migration à 15 ans. Les raisons ou les motivations d'émigrer sont la disponibilité et la productivité des terres.

Nous savons qu'en réalité les choses sont différentes: ce sont d'abord les hommes qui émigrent, puis les femmes. En outre, la migration s'effectue à un âge plus avancé que 15 ans.

Toutefois, pour notre propos qui est de comprendre les effets de la migration sur la dynamique des sols, ces hypothèses se justifient.

Une fraction des jeunes de 15 ans peut émigrer des sols de bonne qualité vers les sols de qualité moindre. Cette fraction FMI (« Fraction which Migrates ») va donc grossir la classe d'âge 15-45 ans en zone L (fig. A.II.27).

Pour la zone G, l'équation de maturation de la classe d'âge de 5 à 15 ans, telle qu'établie page 138, est modifiée pour tenir compte du fait que le nombre de passages à la classe 15-45 ans est diminué du nombre des émigrants. A cette fin, on y introduit le multiplicateur (1-FMI) dans lequel FMI représente le pourcentage d'émigrants.

$$R \quad MA15G.KL = P515.K*[(1 - 10*MO515G.K/2)/10]*(1 - FMI.K)$$

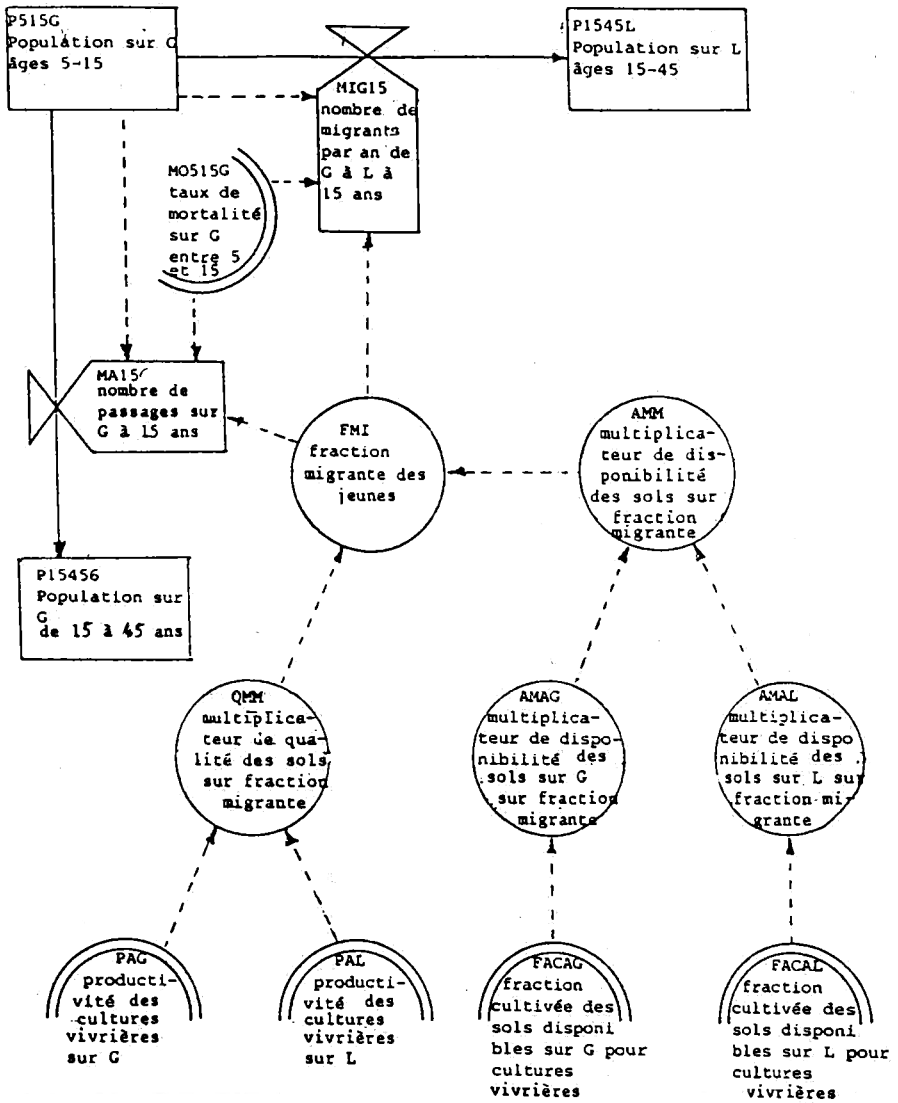


FIG. A.II.27. — Secteur migration Dynamo Flow Diagram pour le calcul de la fraction migrante des jeunes et le flux de migration.

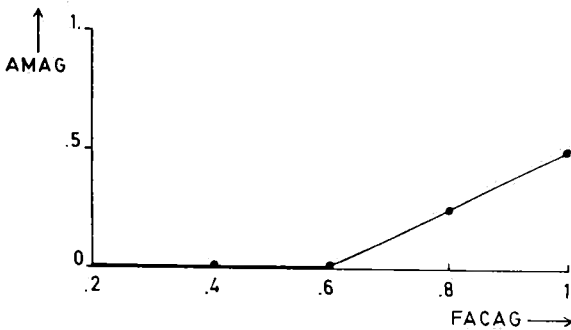
Une équation de migration donnant le nombre d'individus passant de la zone G à la zone L se présentera comme la précédente, mais avec le multiplicateur FMI. Il faut donc donner une équation pour cette migration et moduler les équations pour la population de 5-15 sur G et celle de 15-45 sur L.

$$\begin{aligned}
 R \quad MI15G.KL &= P515G.KL * (1 - MO515G.K * 10/2) * FMI.K \\
 L \quad P515G.K &= P515G.J + (DT)(MA5G.JK - D515G.JK - \\
 &MA15G.JK - MIG15.JK) \\
 L \quad P1545L.K &= P1545L.J + (DT)(MA15L.JK - D1545L.JK \\
 &- MA45L.JK + MIG15.JK)
 \end{aligned}$$

FMI, pourcentage des jeunes qui émigrent, dépend d'un multiplicateur de disponibilité de terres AMM («Availability Multiplier for Migration») et d'un multiplicateur de qualité des sols QMM («Quality Multiplier for Migration»). Le produit de ces deux multiplicateurs peut être supérieur à 1, or la fraction des jeunes qui émigrent est nécessairement inférieure à 1, ce qui nous détermine à introduire une fonction «minimum».

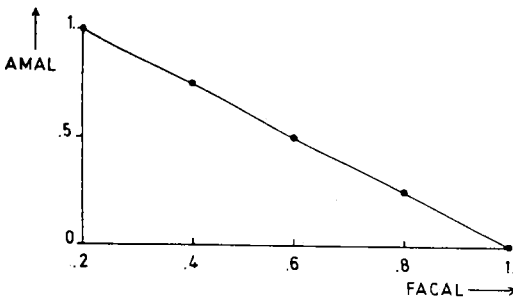
$$A \quad FMI.K = \text{MIN}(1, AMN.K * QMM.K)$$

a. pour la zone G.



FACAG = Fraction cultivée des sols disponibles par cultures annuelles sur bons sols.

b. pour la zone L.



FACAL = Fraction cultivée des sols disponibles pour cultures annuelles sur sols moyens.

FIG. A.II.28a et b. — Multiplicateur de disponibilité des sols sur la migration des jeunes.

Le multiplicateur de disponibilité de terres AMM est fonction des fractions cultivées des terres arables disponibles dans la zone G, FACAG, et dans la zone L, FACAL. L'influence de la disponibilité de terre sur l'émigration est d'autant plus forte que l'occupation des terres en zone L est faible en comparaison avec la zone G. Nous avons donc construit le multiplicateur AMM comme le produit de deux fonctions dont l'une AMAG croît avec l'occupation des terres en zone G quantifiée par la fraction FACAG et l'autre AMAL décroît avec cette même fraction pour la zone L, FACAL. Le produit donne un comportement général en relation avec l'importance relative des jachères dans les deux zones.

Considérant que, coutumièrement, l'émigration ne se manifeste que lorsque les différences sont très marquées, les relations s'expriment par la formule:

$$\begin{aligned} \text{H} \quad \text{AMAG.K} &= \text{TABHL}(\text{TAMAG}, \text{FACAG.K}, .2, 1, .2) \\ \text{T} \quad \text{TAMAG} &= 0/0/0/.25/.50 \\ \text{A} \quad \text{AMAL.K} &= \text{TABHL}(\text{TAMAL}, \text{FACAL.K}, .2, 1, .2) \\ \text{T} \quad \text{TAMAL} &= 1/.75/.50/.25/0 \end{aligned}$$

et par le graphique de la figure A.II.28.

La première fonction reste basse tant que les bonnes terres sont inutilisées, mais, à partir d'un certain point, elle augmente rapidement. La seconde fonction décroît de 1 à 0 au fur et à mesure que les sols moins fertiles sont cultivés.

Le multiplicateur de qualité QMM exprime la relation entre, d'une part, le rapport entre la productivité PAL des terres dans la zone d'accueil des émigrants (zone L) et la productivité dans la zone de départ (zone G) et, d'autre part, la tendance à émigrer de G vers L.

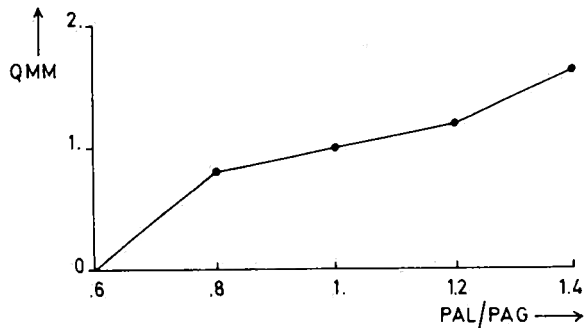


FIG. A.II.29. — PAL/PAG = Quotient des productivités en zones G et L.

Cette relation s'exprime par l'équation ci-après et par le graphique de la figure A.II.29.

$$\begin{aligned} \text{A} \quad \text{QMM.K} &= \text{TABHL}(\text{TQMM}, \text{PAL.K/PAG.K}, .6, 1.4, 2) \\ \text{T} \quad \text{TQMMI} &= 0, 28, 1, 1.2, 2 \end{aligned}$$

Il faut considérer cette fonction QMM comme un modulateur de la migration déterminée surtout par la disponibilité. Lorsque les productivités dans les deux zones sont égales [(PAL/PAG) = 1] les caractéristiques de la migration ne sont pas modifiées par des différences dans la qualité des sols. Dans ce cas, QMM a donc la valeur 1. Si PAL est supérieur à PAG, la migration est plus intense qu'on n'aurait pu le prévoir en se basant uniquement sur les considérations de disponibilité de terres. Dès lors, quand on a (PAL/PAG)  $\geq$  1, on a également QMM  $\geq$  1 et QMM augmente avec PAL/PAG. Inversement quand on a PAL < PAG, la migration diminue et on a également QMM < 1.

### 5.5.2. Migration par groupes familiaux entiers

A l'opposé de la migration des jeunes analysée ci-avant, cette migration de fractions de la population globale revêt un caractère de fuite. Elle est représentée par le passage d'un certain pourcentage de la population MMI (« Multiplier on Migration ») de la zone fertile G vers la zone de moins bons sols, sans modification de la structure des classes d'âge. Nous donnons ci-après les équations de taux pour ce type de migration et leur représentation graphique à la figure A.II.30.

$$\begin{aligned} R \quad MI05G.KL &= P05G.K * MMI.K \\ R \quad M1515G.KL &= P515G.K * MMI.K \\ R \quad MI30G.KL &= P1545G.K * MMI.K \\ R \quad MI45.KL &= P45G.K * MMI.K \end{aligned}$$

Les migrations ainsi calculées sont ajoutées aux équations représentant les différentes classes d'âge en L et soustraites en G.

$$\begin{aligned} L \quad P05G.K &= P05G.J + (DT)(BG.JK - D05G.JK - MA5G.JK - MI05G.JK) \\ L \quad P515G.K &= P515G.J + (DT)(MA5G.JK - D515G.JK - MA15G.JK - MIG15.JK - M1515G.JK) \\ L \quad P1545G.K &= P1545G.J + (DT)(MA15G.JK - D1545G.JK - MA45G.JK - MI30G.JK) \\ L \quad P45G.K &= P45G.J + (DT)(MA45G.JK - D45G.JK - MI45G.JK) \\ L \quad P05L.K &= P05L.J + (DT)(BL.JK - D05L.JK - MA5L.JK + MI05G.JK) \\ L \quad P515L.K &= P515L.J + (DT)(MA5L.JK - D515L.JK - MA15L.JK + MI515G.JK) \\ L \quad P1545L.K &= P1545L.J + (DT)(MA15L.JK - D1545L.JK - MA45L.JK + MIG15.JK + MI30G.JK) \\ L \quad P45L.K &= P45L.J + (DT)(MA45L.JK - D45L.JK + MI45G.JK) \end{aligned}$$

Cette émigration à caractère massif est sous la dépendance unique de l'apport nutritionnel par habitant dans la zone aux sols de bonne qualité. Nous

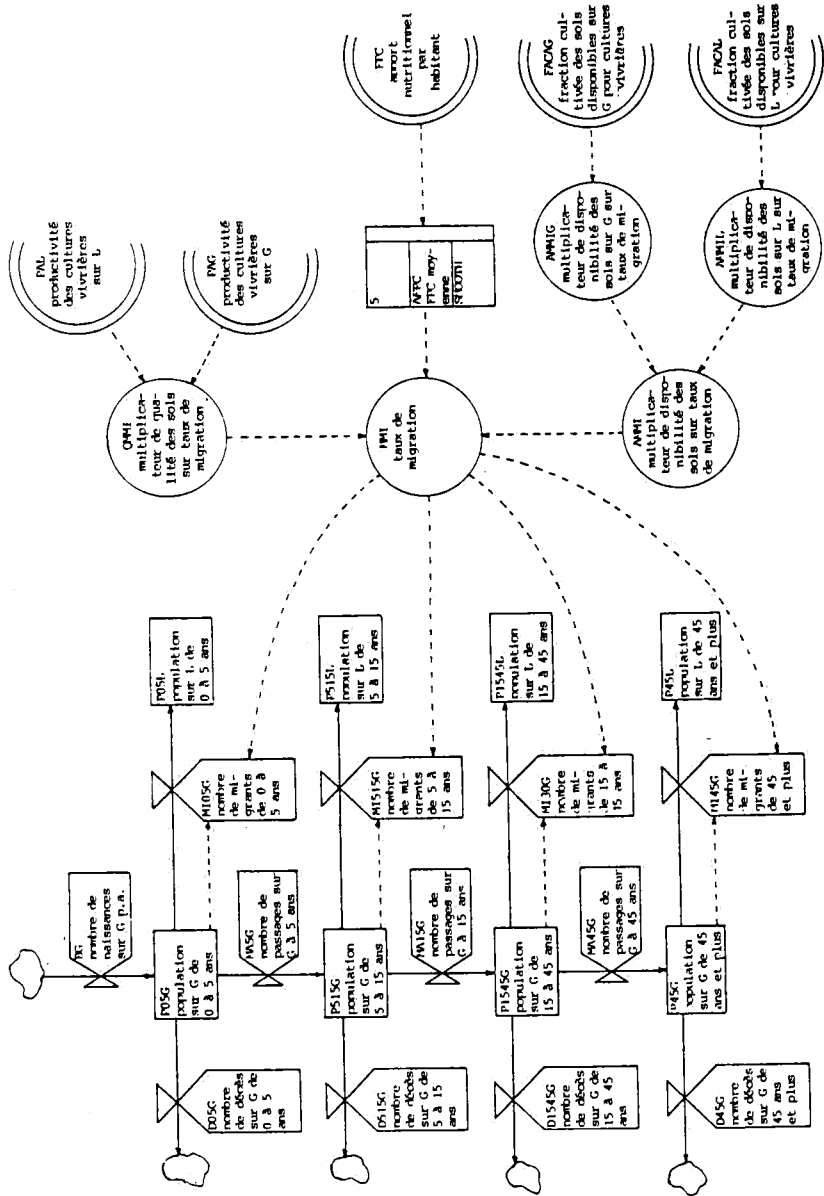


FIG. A.II.30. — Secteur migration Dynamo Diagram pour le calcul du taux de migration et les flux de migration.

introduisons en conséquence un multiplicateur de nutrition FMMI (« Food Multiplier on Migration ») fonction de AFPCG. Notre but n'étant pas de simuler les conséquences de l'apparition d'une famine de courte durée, nous avons pris, comme valeur de l'apport nutritionnel par habitant, la moyenne exponentielle de la nutrition pour les cinq dernières années.

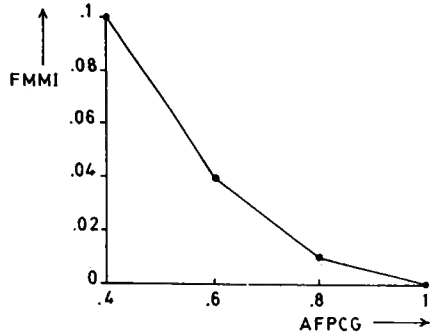


FIG. A.II.31. — Multiplicateur de nutrition sur migration (AFPCG = Nutrition moyenne par tête sur bons sols).

Pour tester l'influence de cette émigration sur le comportement du modèle, nous commencerons par lui donner une valeur nulle puis nous simulerons des valeurs de 1% de la population quand la nutrition tombe à .8 de la norme (2000 kg cal); de 4% quand la nutrition tombe à .6 et de 10% pour .4. La formule s'écrit comme suit, la représentation graphique étant donnée par la figure A.II.31.

$$A \quad FMMI.K = TABHL(TFMMI, AFPCG.K, .4, 1, .2)$$

$$T \quad TFMMI = 0/0/0/0$$

ou

$$T \quad TFMMI = .1, .04, .01$$

Pour qu'il y ait migration, il faut évidemment qu'il subsiste des terres disponibles en zone L et qu'elles restent suffisamment attractives, en dépit de leur fertilité intrinsèque moindre, lorsque comparées aux terres en voie de dégradation de la zone G.

Doivent donc intervenir ici aussi des multiplicateurs de disponibilité AMMI et de qualité QMMI pour lesquels nous utilisons une formulation et une fonction analogue à celles utilisées pour la migration des jeunes adultes. Le taux de migration MMI s'exprimera donc par:

$$A \quad MMI.K = FMMI.K * AMMI.K * QMMI.K$$

Pour le multiplicateur de qualité nous reprenons la formulation:

$$A \quad QMMI.K = TABHL(TQMMI, PAL K, .6, 1.4, .2)$$

$$T \quad TQMMI = 0/.8/1/1.2/2$$



Le graphique est donné par la figure A.II.32.

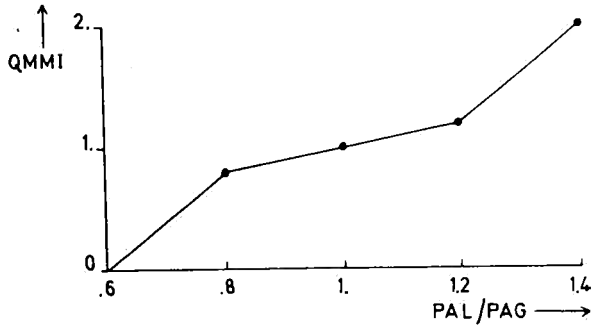


FIG. A.II.32. — Quotient des productivités en zones L et G.

Pour le multiplicateur de disponibilité nous avons pris le produit des deux fonctions AMMIG et AMMIL dont la première représente l'influence de la disponibilité des terres en zone G et l'autre cette influence en zone L. Ce facteur de disponibilité des terres dans la zone G, initialement fertile, n'exerce pas un grand rôle dans la mesure où l'apport nutritionnel sur ces terres est bas quand la qualité de ces terres est dégradée, ce qui diminue considérablement leur attrait.

Comme hypothèse de départ, nous avons estimé l'influence de ce facteur nulle.

$$A \quad \text{AMMIG.K} = \text{TABHL}(\text{TAMMIG}, \text{FACAG.K}, .2, 1, .2)$$

$$T \quad \text{TAMMIG} = 1/1/1/1/1$$

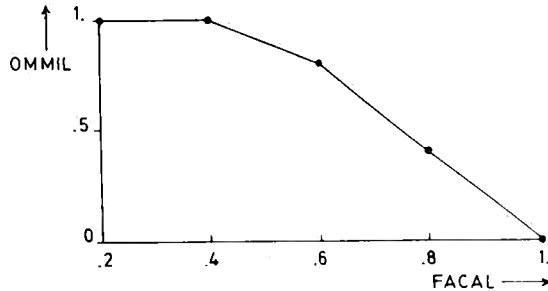


FIG. A.II.33. — Multiplicateur de disponibilité des moins bons sols sur migration (sans dimension). (FACAL = Fraction cultivée des sols disponibles pour cultures annuelles sur sols moyens, sans dimension).

Pour les sols de la zone L, la situation est différente: lorsque la fraction cultivée (FACAL) croît, l'immigration diminue (fig. A.II.33).

$$A \quad \text{AMMIL.K} = \text{TABHL}(\text{TAMMIL}, \text{FACAL.K}, .2, 1, .2)$$

$$T \quad \text{TAMMIL} = 1/1/.8/.4/0$$

Ceci conclut l'analyse du modèle.

**Annexe III**  
**Liste des équations**

## \* KIVU-T2

NOTE

NOTE GOOD SOILS 'G'

NOTE \*\*\*\* \*\*\*\*\* \*\*\*

NOTE

NOTE DEMOGRAPHICS ON G

NOTE \*\*\*\*\* \*\* \*

NOTE POPULATION FROM 0 TO 5 YEARS ON G

L P05G.K=P05G.J+(DT)(BG.JK-D05G.JK-MA5G.JK-MI05G.JK)

N P05G=FP05\*PIG

C FP05=.15

C PIG=500000

R D05G.KL=M005G.K\*P05G.K

A M005G.K=TABHL(TM005,LEG.K,20,50,5)

T TM005=.152/.119/.096/.078/.064/.050/.040

R MA5G.KL=P05G.K\*(1-M005G.K\*5/2)/5

R MI05G.KL=P05G.K\*MMI.K

NOTE BIRTHS ON G

R BG.KL=NEWG.K/ABIG.K

A NEWG.K=FEWG.K\*P1545G.K

C FC1=.94

C FC2=.75

A FEWG.K=.3\*FC2+.02\*FC1\*(25-AMG.K)

A AMG.K=TABHL(AMT,FPCG.K,0,1,.2)

T AMT=25/25/24/22/20/18

A ABIG.K=CDG.K\*BIDG.K+(1-CDG.K)\*BILG.K

A CDG.K=RM\*M005G.K

C RM=2.5

A BIDG.K=2+PPAWLG.K

A PPAWLK.K=TABHL(TPPAWL,FPCG.K,.4,1,.2)

T TPPAWL=8/4.5/1/0

A BILG.K=DPPAG.K+CGD.K

A CGD.K=TABHL(CGDT,TIME.K,1920,2020,20)

T CGDT=2.7/2/1.3/1.3/1.3/1.3

A DPPAG.K=TABHL(TDPPA,FPCG.K,.4,1,.2)

T TDPPA=8/5/1.8/1.5

NOTE

NOTE POPULATION FROM 5 TO 15 ON G

NOTE

L P515G.K=P515G.J+(DT)(MA5G.JK-D515G.JK-MA15G.JK-MIG15.JK-MI515G.JK)

N P515G=FP515\*PIG

C FP515=.21

R D515G.KL=M0515G.K\*P515G.K

A M0515G.K=TABHL(TM0515,LEG.K,20,50,5)

T TM0515=.022/.017/.014/.011/.009/.008/.006

R MA15G.KL=P515G.K\*(1-M0515G.K\*10/2)/10\*(1-FMI.K)

R MIG15.KL=P515G.K\*(1-M0515G.K\*10/2)/10\*FMI.K

R MI515G.KL=P515G.K\*MMI.K

NOTE

NOTE POPULATION FROM 15 TO 45 ON G

NOTE

L P1545G.K=P1545G.J+(DT)(MA15G.JK-D1545G.JK-MA45G.JK-MI30G.JK)

N P1545G=FP1545\*PIG

C FP1545=.43

R D1545G.KL=M030G.K\*P1545G.K

A M030G.K=TABHL(TM030,LEG.K,20,50,5)

T TM030=.022/.017/.014/.012/.010/.009/.007

R MA45G.KL=P1545G.K\*(1-M030G.K\*30/2)/30

R MI30G.KL=P1545G.K\*MMI.K  
 NOTE  
 NOTE POPULATION FROM 45 ONWARD ON G  
 NOTE  
 L P45G.K=P45G.J+(DT)(MA45G.JK-D45G.JK-MI45G.JK)  
 N P45G=FP45\*PIG  
 C FP45=.20  
 R D45G.KL=M045G.K\*P45G.K  
 A M045G.K=TABHL(TM045,LEG.K,20,50,5)  
 T TM045=.059/.053/.049/.046/.043/.040/.038  
 R MI45G.KL=P45G.K\*MMI.K  
 NOTE  
 NOTE AGREGATED VARIABLES FOR POPULATION ON G  
 NOTE  
 A PG.K=P05G.K+P515G.K+P1545G.K+P45G.K  
 A BRG.K=BG.JK/PG.K  
 C LCO PG=.7  
 A DRG.K=(D05G.JK+D515G.JK+D1545G.JK+D45G.JK)/PG.K  
 A LFG.K=P1545G.K+LCO PG\*P45G.K  
 NOTE LIFE EXPECTANCY ON G  
 A LEG.K=NLE\*EMLEG.K\*FMLEG.K  
 C NLE=40  
 T FMLE=0/.25/.5/.75/.9/1  
 A EMLEG.K=TABHL(TEMLEG,TIME.K,1920,1980,20)  
 T TEMLEG=.8/.9/1.05/1  
 A FMLEG.K=TABHL(TFMLE,FPCG.K,0,1,.2)  
 NOTE  
 NOTE PRODUCTION SECTOR FOR G  
 NOTE \*\*\*\*\*  
 NOTE ANNUAL CROPS A  
 NOTE  
 NOTE AREA CULTIVATED  
 A FAAG.K=1-(ACBG.K/(FAG\*G))  
 C FAG=.5  
 N G=FSG\*TS  
 C FSG=.20  
 C TS=3433800  
 A APSPAG.K=NAPSAG.K\*((1-PC)+(PC/RPAG.K))  
 A NAPSAG.K=SAG.K/NPAG  
 A SAG.K=SNP-ANBG\*PBG.K  
 C NPAG=7000000  
 C PC=.5  
 A FPSAG.K=PG.K\*APSPAG.K/(FAG\*G)  
 A MACLAG.K=NMACLA\*TABHL(FLT,AFPCG.K,.4,1,.3)  
 C NMACLA=.37  
 T FLT=.5/.9/1  
 A AFPCG.K=SMOOTH(FPCG.K,5)  
 N FPCG=1  
 A MFCAG.K=LFG.K\*MACLAG.K/(FAG\*G)  
 A FCAG.K=MIN(FAAG.K,AFCAG.K)  
 A AFCAG.K=MIN(MFCAG.K,FPSAG.K)  
 A FACAG.K=FCAG.K/FAAG.K  
 NOTE RELATIVE PRODUCTIVITY  
 NOTE FERTILITY  
 L FPAG.K=FPAG.J+(DT)(CFPAG.JK)  
 N FPAG=FPAGI  
 C FPAGI=1  
 R CFPAG.KL=(EFPAG.K-FPAG.K)/ATFPAG.K

A EFPAG.K=EFMAG.K\*MEFPAG+(1-EFMAG.K)\*AEFPAG.K  
 A EFMAG.K=DELAY3(FMAG.K,DTFMG)  
 A FMAG.K=STEP(IFMG,SFMG)  
 C IFMG=0  
 C SFMG=1980  
 C DTFMG=20  
 C MEFPAG=1  
 A AEFPAG.K=TABHL(TEFPAG,FACAG.K,.4,1,.2)  
 T TEFPAG=1/.94/.88/.82  
 A ATFPAG.K=FIGE(UAFPAG.K,DAFPAG.K,EFPAG.K,FPAG.K)  
 A UAFPAG.K=TABHL(TUAPAG,FPAG.K,.1,1,.3)  
 T TUAPAG=25/20/15/15  
 A DAFPAG.K=TABHL(TDAPAG,FACAG.K,.1,1,.3)  
 T TDAPAG=10/10/10/10  
 NOTE EROSION  
 L MRPAG.K=MRPAG.J+(DT){-DMRPAG.JK}  
 N MRPAG=IMRPAG  
 C IMRPAG=1  
 R DMRPAG.KL=FDMPAG.K\*MRPAG.K  
 A FMPAG.K=TABHL(TFDPAG,FACAG.K,.2,1,.2)\*EEPG.K  
 T TFDPAG=0/0/.01/.02/.03  
 A EEPG.K=DELAY3(EPG.K,DTEPG)  
 A EPG.K=1-STEP(IEPG,SEPG)  
 C IEPG=0  
 C SEPG=1980  
 C DTEPG=30  
 A RPAG.K=FPAG.K\*MRPAG.K  
 A PAG.K=NPAG\*RPAG.K  
 NOTE  
 NOTE BANANAS AND AREA AROUND THE HOME B  
 NOTE  
 A ACBG.K=PG.K\*ANBG  
 C ANBG=.05  
 A PBG.K=NPBG\*FPBG.K  
 C NPBG=1000000  
 L FPBG.K=FPBG.J+(DT){CFPBG.JK}  
 N FPBG=FPBGI  
 C FPBGI=1  
 R CFPBG.KL=(EFPBG.K-FPBG.K)/ATFPBG  
 A EFPBG.K=TABHL(TEFPBG,FACAG.K,.5,1,.25)  
 T TEFPBG=1/.85/.7  
 C ATFPBG=10  
 NOTE  
 NOTE TOTAL PRODUCTION ON G AND FOOD PER CAPITA  
 NOTE  
 A TEPG.K=FCAG.K\*FAG\*G\*PAG.K+ACBG.K\*PBG.K  
 A TPG.K=TEPG.K\*EMP.K  
 A EMP.K=TABHL(TEMP,TIME.K,1920,1960,20)\*NORMRN(1,SD)  
 T TEMP=1/1/1  
 C SD=0  
 A PRSG.K=TPG.K/(PG.K\*SNP)  
 C SNP=750000  
 A FPCG.K=PRSG.K  
 NOTE \*\*\*\*  
 NOTE LESS GOOD SOILS "L"  
 NOTE \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\*\* \*\*\*  
 NOTE  
 NOTE DEMOGRAPHICS ON L

NOTE \*\*\*\*\* \*\* \*

NOTE POPULATION FROM 0 TO 5 YEARS ON L

NOTE

L P05L.K=P05L.J+(DT)(BL.JK-D05L.JK-MA5L.JK+MI05G.JK)

N P05L=FP05\*PIL

C PIL=250000

R D05L.KL=M005L.K\*P05L.K

A M005L.K=TABHL(TM005,LEL.K,20,50,5)

R MA5L.KL=P05L.K\*(1-M005L.K\*5/2)/5

NOTE BIRTHS ON L

R BL.KL=NEWL.K/ABIL.K

A NEWL.K=FEWL.K\*P1545L.K

A FEWL.K=.3\*FC2+.02\*FC1\*(25-AML.K)

A AML.K=TABHL(AMT,FPCL.K,0,1,.2)

A ABIL.K=CDL.K\*BIDL.K+(1-CDL.K)\*BILL.K

A CDL.K=RM\*M005L.K

A BIDL.K=2+PPAWLL.K

A PPAWLL.K=TABHL(TPPAWL,FPCL.K,.4,1,.2)

A BILL.K=DPPAL.K+CGD.K

A DPPAL.K=TABHL(TOPPA,FPCL.K,.4,1,.2)

NOTE

NOTE POPULATION FROM 5 TO 15 ON L

NOTE

L P515L.K=P515L.J+(DT)(MA5L.JK-D515L.JK-MA15L.JK+MI515G.JK)

N P515L=FP515\*PIL

R D515L.KL=M0515L.K\*P515L.K

A M0515L.K=TABHL(TM0515,LEL.K,20,50,5)

R MA15L.KL=P515L.K\*(1-M0515L.K\*10/2)/10

NOTE

NOTE POPULATION FROM 15 TO 45 ON L

NOTE

L P1545L.K=P1545L.J+(DT)(MA15L.JK+MIG15.JK-D1545L.JK-MA45L.JK+MI30G.JK)

N P1545L=FP1545\*PIL

R D1545L.KL=M030L.K\*P1545L.K

A M030L.K=TABHL(TM030,LEL.K,20,50,5)

R MA45L.KL=P1545L.K\*(1-M030L.K\*30/2)/30

NOTE

NOTE POPULATION FROM 45 ONWARD ON L

NOTE

L P45L.K=P45L.J+(DT)(MA45L.JK-D45L.JK+MI45G.JK)

N P45L=FP45\*PIL

R D45L.KL=M045L.K\*P45L.K

A M045L.K=TABHL(TM045,LEL.K,20,50,5)

NOTE

NOTE AGREGATED VARIABLES FOR POPULATION ON L

NOTE

A PL.K=P05L.K+P515L.K+P1545L.K+P45L.K

A BRL.K=BL.JK/PL.K

A DRL.K=(D05L.JK+D515L.JK+D1545L.JK+D45L.JK)/PL.K

A LFL.K=P1545L.K+LCOPL\*P45L.K

C LCOPL=.7

NOTE LIFE EXPECTANCY ON L

A LEL.K=NLE\*EMLEL.K\*FMLEL.K

A EMLEL.K=TABHL(TEMLEL,TIME.K,1920,1980,20)

T TEMLEL=.8/.9/1.05/1

A FMLEL.K=TABHL(TFMLE,FPCL.K,0,1,.2)

NOTE PRODUCTION SECTOR FOR L

NOTE \*\*\*\*\* \*\* \*

## NOTE ANNUAL CROPS A

NOTE

NOTE AREA CULTIVATED

$$A \text{ FAAL.K} = 1 - (\text{ACBL.K} / (\text{FAL} * \text{L}))$$

$$C \text{ FAL} = .5$$

$$N \text{ L} = (1 - \text{FSG}) * \text{TS}$$

$$A \text{ APSPAL.K} = \text{NAPSPAL.K} * ((1 - \text{PC}) + (\text{PC} / \text{RPAL.K}))$$

$$A \text{ NAPSPAL.K} = \text{SAL.K} / \text{NPAL}$$

$$A \text{ SAL.K} = \text{SNP} - \text{ANBL} * \text{PSL.K}$$

$$N \text{ NPAL} = \text{RQLQG} * \text{NPAG}$$

$$C \text{ RQLQG} = .7$$

$$A \text{ FPSAL.K} = \text{PL.K} * \text{APSPAL.K} / (\text{FAL} * \text{L})$$

$$A \text{ MACLAL.K} = \text{NMACLA} * \text{TABHL}(\text{FLT}, \text{AFPCL.K}, .4, 1, .3)$$

$$A \text{ AFPCL.K} = \text{SMOOTH}(\text{FPCL.K}, 5)$$

$$N \text{ FPCL} = 1$$

$$A \text{ MFCAL.K} = \text{LFL.K} * \text{MACLAL.K} / (\text{FAL} * \text{L})$$

$$A \text{ FCAL.K} = \text{MIN}(\text{FAAL.K}, \text{AFCAL.K})$$

$$A \text{ AFCAL.K} = \text{MIN}(\text{MFCAL.K}, \text{FPSAL.K})$$

$$A \text{ FACAL.K} = \text{FCAL.K} / \text{FAAL.K}$$

NOTE RELATIVE PRODUCTIVITY

NOTE FERTILITY

$$L \text{ FPAL.K} = \text{FPAL.J} + (\text{DT}) (\text{CFPAL.JK})$$

$$N \text{ FPAL} = \text{FPALI}$$

$$C \text{ FPALI} = 1$$

$$R \text{ CPAL.KL} = (\text{EFPAL.K} - \text{FPAL.K}) / \text{ATFPAL.K}$$

$$A \text{ EFPAL.K} = \text{EFMAL.K} * \text{MEFPAL} + (1 - \text{EFMAL.K}) * \text{AEFPAL.K}$$

$$A \text{ EFMAL.K} = \text{DELAY3}(\text{FMAL.K}, \text{DTFML})$$

$$A \text{ FMAL.K} = \text{STEP}(\text{IFML}, \text{SFML})$$

$$C \text{ IFML} = 0$$

$$C \text{ SFML} = 1980$$

$$C \text{ DTFML} = 20$$

$$C \text{ MEFPAL} = 1$$

$$A \text{ AEFPAL.K} = \text{TABHL}(\text{TEFPAL}, \text{FACAL.K}, .4, 1, .2)$$

$$T \text{ TEFPAL} = 1 / .94 / .88 / .82$$

$$A \text{ ATFPAL.K} = \text{FIFGE}(\text{UAFPAL.K}, \text{DAFPAL.K}, \text{EFPAL.K}, \text{FPAL.K})$$

$$A \text{ UAFPAL.K} = \text{TABHL}(\text{TUAPAL}, \text{FPAL.K}, .1, 1, .3)$$

$$T \text{ TUAPAL} = 25 / 20 / 15 / 15$$

$$A \text{ DAFPAL.K} = \text{TABHL}(\text{TDAPAL}, \text{FACAL.K}, .1, 1, .3)$$

$$T \text{ TDAPAL} = 10 / 10 / 10 / 10$$

NOTE EROSION

$$L \text{ MRPAL.K} = \text{MRPAL.J} + (\text{DT}) (-\text{DMRPAL.JK})$$

$$N \text{ MRPAL} = \text{IMRPAL}$$

$$C \text{ IMRPAL} = 1$$

$$R \text{ DMRPAL.KL} = \text{FDMPAL.K} * \text{MRPAL.K}$$

$$A \text{ FDMPAL.K} = \text{TABHL}(\text{TFDPAL}, \text{FACAL.K}, .2, 1, .2) * \text{EEPL.K}$$

$$T \text{ TFDPAL} = 0 / .005 / .02 / .03 / .035$$

$$A \text{ EEPL.K} = \text{DELAY3}(\text{EPL.K}, \text{DTEPL})$$

$$A \text{ EPL.K} = 1 - \text{STEP}(\text{IEPL}, \text{SEPL})$$

$$C \text{ IEPL} = 0$$

$$C \text{ SEPL} = 1980$$

$$C \text{ DTEPL} = 30$$

$$A \text{ RPAL.K} = \text{FPAL.K} * \text{MRPAL.K}$$

$$A \text{ PAL.K} = \text{NPAL} * \text{RPAL.K}$$

$$A \text{ PRGL.K} = \text{RPAL.K} * \text{RQLQG}$$

NOTE

NOTE BANANAS AND AREA AROUND THE HOME B

NOTE

$$A \text{ ACBL.K} = \text{PL.K} * \text{ANBL}$$

```

N ANBL=ANBG/RQLQG
A PBL.K=NPBL*FPBL.K
N NPBL=RQLQG*NPBG
L FPBL.K=FPBL.J+(DT)(CFPBL.JK)
N FPBL=FPBLI
C FPBLI=1
R CFPBL.KL=(EFPBL.K-FPBL.K)/ATFPBL
A EFPBL.K=TABHL(TEFPBL,FACAL.K,.5,1,.25)
T TEFPBL=1/.85/.7
C ATFPBL=10
NOTE
NOTE TOTAL PRODUCTION ON L AND FOOD PER CAPITA
NOTE
A TEPL.K=FCAL.K*FAL*L*PAL.K+ACBL.K*PBL.K
A TPL.K=TEPL.K*EMP.K
A PRSL.K=TPL.K/(PL.K*SNP)
A FPCL.K=PRSL.K
NOTE
NOTE
NOTE INTERACTION BETWEEN G AND L
NOTE ***** * * * *
NOTE MIGRATION
A FMI.K=MIN(1,AMM.K*QMM.K)
A QMM.K=TABHL(TQMM,PAL.K/PAG.K,.6,1.4,.2)
T TQMM=0/.8/1/1.2/1.6
A AMM.K=AMAG.K*AMAL.K
A AMAG.K=TABHL(TAMAG,FACAG.K,.2,1,.2)
T TAMAG=0/0/0/.25/0
A AMAL.K=TABHL(TAMAL,FACAL.K,.2,1,.2)
T TAMAL=1/.75/.50/.25/0
A MMI.K=AMMI.K*QMMI.K*FMMI.K
A AMMI.K=AMMIG.K*AMMIL.K
A AMMIG.K=TABHL(TAMMIG,FACAG.K,.2,1,.2)
T TAMMIG=1/1/1/1/1
A AMMIL.K=TABHL(TAMMIL,FACAL.K,.2,1,.2)
T TAMMIL=1/1/.8/.4/0
A QMMI.K=TABHL(TQMMI,PAL.K/PAG.K,.6,1.4,.2)
T TQMMI=0/.8/1/1.2/2
A FMMI.K=TABHL(TFMMI,AFPCG.K,.4,1,.2)
T TFMMI=.1/.04/.01/0
NOTE GLOBAL DEMOGRAPHIC VARIABLES
NOTE
A P.K=PG.K+PL.K
A DR.K=(DRG.K*PG.K+DRL.K*PL.K)/P.K
NOTE
NOTE SPEC CARDS
NOTE **** *****
N TIME=1920
SPEC DT=1/LENGT4=0/PLTPER=2/PRTPER=2
PLOT PG=P,PL=1(0,1000000)/FPCG=F,FPCL=2,FMI=*(0,1)/MMI=M(0,.1)
PLOT BRG=3,DRG=D,BRL=3,DRL=4(0,.1)/FPCG=F,FPCL=2(0,1)
PLOT FACAG=C,RPAG=P,FACAL=5,PRGL=6(0,1)
PLOT FAAG=A,MFCAG=M,FPSAG=S,FAAL=7,MFCAL=8,FPSAL=9(0,2)
RUN BASIC

```



CP LENGTH=2050  
RUN AO

T TAMAG=0/0/.2/1/1  
RUN AMI

CP IEPG=1  
RUN AEPG

CP IEPL=1  
TP TAMAG=0/0/.2/1/1  
TP TFMMI=.1/.02/.01/0  
RUN AFO

C SEPL=2000  
RUN AFOL

CP TS=2559000  
CP FSG=.5  
CP PIG=1100000  
CP PIL=400000

CP TS=2559000  
CP FSG=.5  
CP PIG=1500000  
TP TFDPAAG=0/.003/.015/.025/.033

Annexe IV

**Liste des abréviations**

P05G	population from 0 to 5 years on G/	persons
P515G	population from 5 to 15 years on G/	persons
P1545G	population from 15 to 45 years on G/	persons
P45G	population from 45 onwards on G/	persons
D05G	Annual Deaths in between 0 and 5 on G/	persons/year
D515G	Annual Deaths in between 5 and 15 on G/	persons/year
D1545G	Annual Deaths in between 15 and 45 on G/	persons/year
D45G	Annual Deaths from 45 onwards on G/	persons/year
BG	Annual Births on G/	persons/year
MA5G	Annual Maturations at 5 year on G/	persons/year
MA15G	Annual Maturations at 15 year on G/	persons/year
MA45G	Annual Maturations at 45 year on G/	persons/year
PIG	Population Initially on G/	persons
FP05	Fraction of the initial Population from 0 to 5/	d'less *
FP515	Fraction of the initial Population from 5 to 15/	d'less
FP1545	Fraction of the initial Population from 15 to 45/	d'less
FP45	Fraction of the initial Population from 45 onward/	d'less
LEG	Life Expectancy at birth on G/	years
M005G	Relative Mortality from 0 to 5 on G/	d'less
M0515G	Relative Mortality from 5 to 15 on G/	d'less
M030G	Relative Mortality from 15 to 45 on G/	d'less
M045G	Relative Mortality from 45 onwards on G/	d'less
TM005	Table for M005G/	d'less
TM0515	Table for M0515G/	d'less
TM030	Table for M030G/	d'less
TM045	Table for M045G/	d'less
NLE	Norm for Life Expectancy/	years
EMLEG	Environmental Multiplier for Life Expectancy on G/	d'less
FMLEG	Food Multiplier on Life Expenctancy on G/	d'less
TEMLEG	Table for EMLEG/	d'less
TFMLE	Table for FMLEG/	d'less
FPCG	Food Per Capita on G/	d'less
ABIG	Average Birth Interval on G/	years
NEWG	Number of Exposed Women on G/	persons
FC2	Fraction of exposed women from 25 to 45/	d'less
FC1	Fraction of exposed women from 15 to 25/	d'less
AMG	Age of first Marriage on G/	years
FEWG	Fraction of Exposed Women on G from 15 to 45/	d'less
AMT	Age of first Marriage Table	d'less
BILG	Birth Interval when the previous child Lives on G/	years
BIDG	Birth Interval when the previous child Dies on G/	years

\* dimensionless

CDG	Chance of Dying on G before 1.5/	d'less
RM	Relative Mortality	
DPPAG	Duration of Post Partum Amenorrhea on G/	years
PPAWL	Duration of Post Partum Amenorrhea Without Lactation on G/	years
TDPPA	Table for DPPAG	years
TPPAWL	Table for PPAWL	years
CGD	Conception and Gestation Delay	years
CGDT	CGD Table	years
LFG	Labour Force on G/	persons
LCOPG	Labour Coefficient for Older Persons on G/	d'less
PG	Population on G/	persons
BRG	relative Birth Rate on G/	d'less
DRG	relative Death Rate on G/	d'less
G	Good soils/	
L	Less good soils/	

The corresponding "on L" variables are formed by replacing the G at the end of the "on G" variables by L.

FAG	Fraction of Arable soils on G/	d'less
ACBG	Area Cultivated with Bananas on G/	hectares
FAAG	Fraction of arable soils Available for Annual crops on G/	d'less
FCAG	Fraction of arable soils cultivated with Annual crops on G/	d'less
FACAG	Fraction of Available soils Cultivated with Annual crops on G/	d'less
PAG	Productivity for Annual crops on G/	calories/hectare/ year
PBG	Productivity for Bananas on G/	calories/hectare/ year
TEPG	Total Expected Production on G/	calories/year
TPG	Total Production on G/	calories/year
EMP	Environmental Multiplier on Production/	d'less
TEMP	Table for EMP/	d'less
SD	Standard Deviation/	d'less
TIME	TIME/	years
SNP	Subsistence Needs per Person/	calories/person/ year
PRSG	Production Relative to Subsistence needs on G/	d'less
ANBG	Area Norm for Bananas on G/	
MFCAG	Maximal Fraction Cultivated with Annual Crops on G/	d'less
FPSAG	Fraction needed to Satisfy Perceived Subsistence needs in Annual crops on G/	d'less
AFCAG	Auxiliary for FCAG	d'less

MACLAG	Maximal Area which can be Cultivated by one Labour unit with Annual crops on G/	hectares
NMACLA	Norm for MACLA/	hectare/person
AFPCG	Average Food Per Capita on G/	d'less
FLG	Food Multiplier on Labour/	d'less
FLT	FL Table/	d'less
APSPAG	Area needed to satisfy the Perceived Subsistence needs in Annual crops per Person on G/	hectare/person
SAG	Subsistence needs for Annual crops on G/	calories/person
NPAG	Norm for Productivity for Annual crops on G/	calories/year/ hectare
NAPSA	Norm for APSPAG/	hectares/person
RPAG	Relative Productivity for Annual crops on G/	d'less
PC	Perception Coefficient/	d'less
NPBG	Norm for Productivity for Bananas on G/	calories/year/ hectare
MRPAG	Maximum for RPAG/	d'less
FPAG	Fraction of MRPAG which is left/	d'less
PAG	Productivity for Annual crops on G/	calories/hectare
DMRPAG	Degradation rate of MRPAG/	
IMRPAG	Initial MRPAG/	year <sup>-1</sup>
FDMPAG	Fractional DMRPAG/	year <sup>-1</sup>
RPBG	Relative Productivity for Bananas on G/	d'less
TEFPBG	Table for EFPB/	d'less
EFPBG	Equilibrium value for FPBG/	d'less
FPBG	remaining Fraction of normal Productivity for Bananas/	d'less
ATFPB	Adjustment Time for FPB/	years
CFPBG	rate of Change of FPBG	year <sup>-1</sup>
FPBGI	Initial value for FPBG	
TFDPAG	Table for FDMPA on G/	year <sup>-1</sup>
EPG	Erosion Prevention programme on G/	
EEPG	Effectiveness of Erosion Prevention on G/	d'less
SEPG	Starting time of Erosion Prevention on G/	years
DTEPG	Delay time for effectuating Erosion Prevention on G/	years
TEPG	Intensity of Erosion Prevention on G/	
EFPAG	Equilibrium value for FPAG	d'less
EFMPG	Effectiveness of Fertility Maintenance Programme	d'less
CFPAG	rate of Change of FPAG	year <sup>-1</sup>
FPAI	Initial FPAG	

DAFPAG	Downward Adjustment time for FPAG	years
TDAPAG	Table for DAFPAG	years
UAFPAG	Upward Adjustment time for FPAG/	years
TUAPAG	Table for UAFFPA/	years
ATFPAG	Adjustement Time for FPAG/	years
AEFPAG	Auxiliary for EFPAG	d'less
TEFPAG	Table for EFPAG	
MEFPAG	Maximum for EFPAG	d'less
EFMAG	Effectiveness of Fertility Maintenance for Annual crops on G/	d'less
SFMG	Start Fertility Maintenance on G/	years
IFMG	Intensity of Fertility Maintenance on G/	d'less
DTFMG	Delay time for Fertility Maintenance programme on G/	years
FSG	Fraction of Soils which are Good/	d'less
TS	Total Surfaces/	hectares
RQLQG	Ratio of the Quality of L to the Quality of G	d'less
PRGL	Productivity relative to G on L	d'less
FMI	Fraction which Migrate	d'less
MIG15G	MIGration rate at 15 from G to L	persons/year
AMM	Availability Multiplier on Migration	d'less
QMM	Quality Multiplier on Migration	d'less
TQMM	Table for QMM	d'less
AMAG	Availability Multiplier of soil for Annual crops on G/	d'less
AMAL	Availability Multiplier of soil for Annual crops on G/	d'less
TAMAG	Table for AMAG/	d'less
TAMAL	Table for AMAL/	d'less
MMI	Multiplier on MIGration	d'less
MIO5G	Migration from 0 to 5 from G to L/	persons/year
MI515G	Migration from 5 to 15 from G to L/	persons/year
MI30G	Migration from 15 to 45 from G to L/	persons/year
MI45G	Migration from 45 onward from G to L/	persons/year
FMMI	Food Multiplier on MIGration/	d'less
TFMMI	Table for FMMI	d'less
QMMI	Quality Multiplier on total MIGration/	d'less
TQMMI	Table for QMMI/	d'less
AMMI	Availability Multiplier on total MIGration/	d'less
AMMIG	Availability of soils on G Multiplier on total MIGration/	d'less
TAMMIG	Table for AMMIG	

AMMIL	Availability of soils on L Multiplier on total Migration/	d'less
TAMMIL	Table for AMMIL	d'less
P	Total Population/	persons
DR	Total Death Rate	persons/year
DT	Time step/	years
LENGTH	length/	years
PLTPER	plot period/	years
PRTPER	print period/	years

## BIBLIOGRAPHIE

### I. Rapports stencilés ou photocopiés

Plusieurs rapports intéressant la Région du Kivu n'ont pas été publiés, mais ils existent sous forme de stencils, ou de photocopies.

Certains apportent des données fondamentales sur la situation actuelle des pays de l'Afrique Centrale interlacustre.

Ceux que les auteurs du présent travail ont consulté sont mentionnés ci-dessous avec le plus de description possible.

Cemubac. Rapports annuels (de 1963 à 1975). — La mission médicale du Cemubac produit chaque année un rapport d'une soixantaine de pages stencillées. Les données statistiques font partie de ces rapports.

COLLE, P. 1937. Essai de monographie des Bashi. — Édition de 1971, 282 pp., stencillées. Centre d'Étude de Langues Africaines, B.P. 186, Bukavu.

DE MAEYER, E. M. & ROELS-BROADHURST, D. M., 1959. L'enquête alimentaire de Luhihi (Kivu, République du Congo). — I.R.S.A.C. (Lwiro) Kivu, 9 pp., stencillées.

HECQ, J. 1959. Monographie du Bushi riverain du lac. — 1 vol. stencilé de 25 pp., Archives de l'Institut national pour l'Étude agronomique du Congo (I.N.E.A.C.).

Institut des Sciences agronomiques du Rwanda (I.S.A.R.). Rapports annuels 1963 à 1971, stencillés.

Institut National de la Statistique 1973. Rapport sur l'enquête des budgets familiaux en milieu africain. Ville de Bukavu. — Office national de la Recherche et du Développement Kinshasa-Zaïre, 1 vol., stencilé, 232 pp.

Institut National de la Statistique 1974. Étude socio-démographique de Bukavu. — Rapport général, Office national de la Recherche et du Développement Kinshasa (Zaïre), 1 vol., stencilé, 169 pp.

LEMARCHAND, G. 1969. Situation alimentaire générale et problèmes particuliers posés par les cultures vivrières au Rwanda. — Chaire de Phytotechnie des Régions chaudes, Faculté des Sciences agronomiques, Gembloux (Belgique) 1 fasc., stencilé, 54 pp.

Ministère des Colonies (Bruxelles) 1957. Aperçu sur l'économie agricole de la Province du Kivu. — 115 pp.

MOL, R. 1965. Enquête Kibirizi — Contribution à un diagnostic de la communauté. — 1 fasc., stencilé, 78 pp., Kibirizi (Rwanda).

Office Général de Statistique 1973. Enquête démographique du Rwanda, 1970, t. I et II, 2 vol., 280 pp., polycopiés. République rwandaise, Office général de statistique & République française, Secrétariat d'État aux Affaires étrangères chargé de la coopération.

PASCAL, J. 1969. Quelques aspects de la physiologie du post-partum. — Thèse de doctorat, Université de Nancy, 161 pp., stencilé.

PICARDI, A. C., 1974. A systems analysis of pastoralism in the West African Sahel. — Annexe 5 of « A framework for evaluating long-term strategies for the development of the Sahel-Sudan region », M.I.T. Center for Policy alternatives, Cambridge, (Massachusetts), December 1974 (USAID).

PRÉFOL, B. & DELEPIERRE, G. 1973. Disponibilité et utilisation des terres au Rwanda. Situation actuelle et perspectives. — Ministère du Plan et des Ressources naturelles et Institut des Sciences agronomiques du Rwanda, 1 vol., stencilé, 123 pp.

ROBERTS, P. C. & NORSE, D. 1976. The problems of food production in certain asian countries. — Department of the Environment, London, 1 vol., stencilé.

Station de Recherches agronomiques de Rubona (Rwanda), Rapports annuels 1960 à 1962.



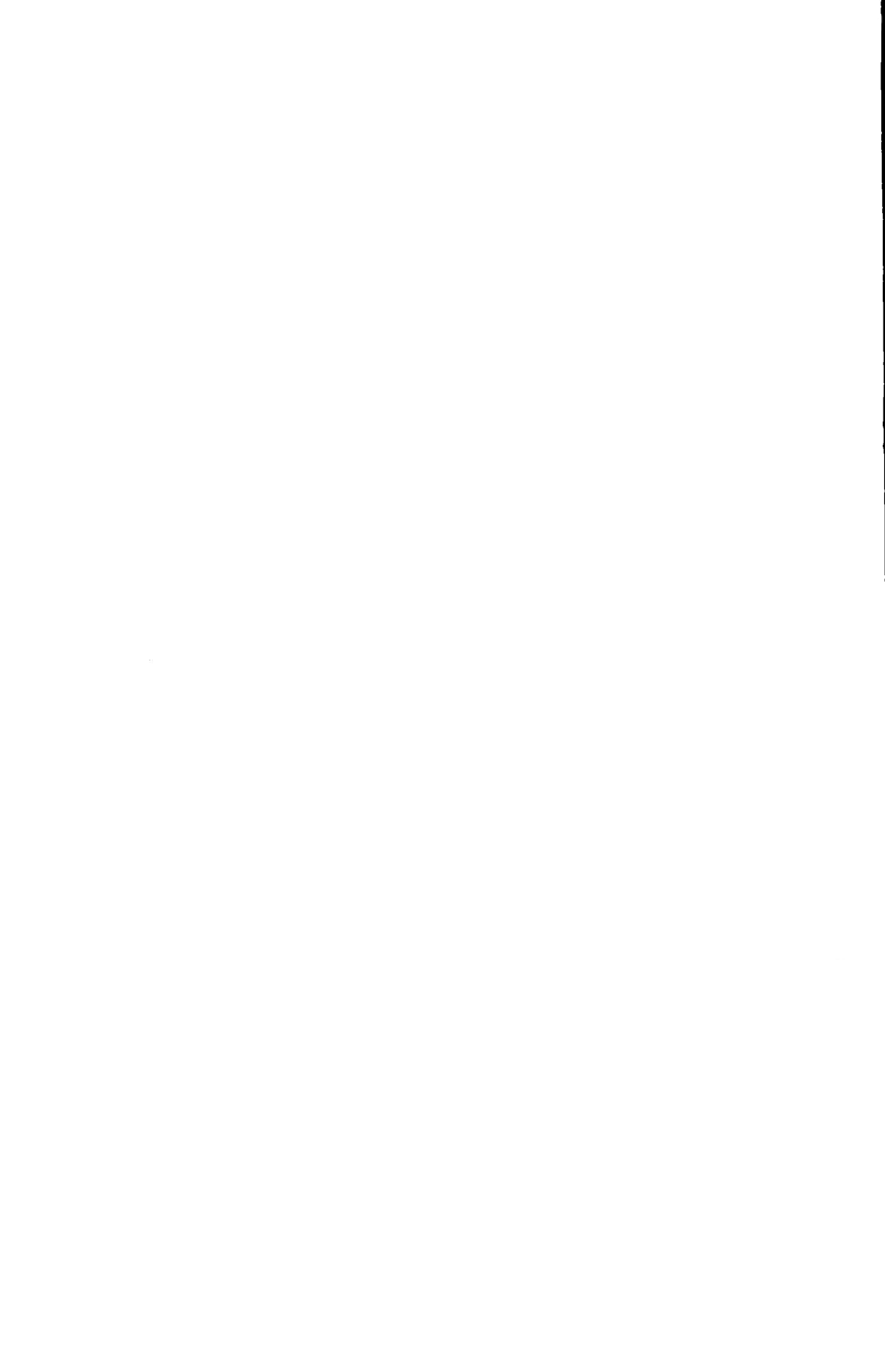
## II. Livres et articles

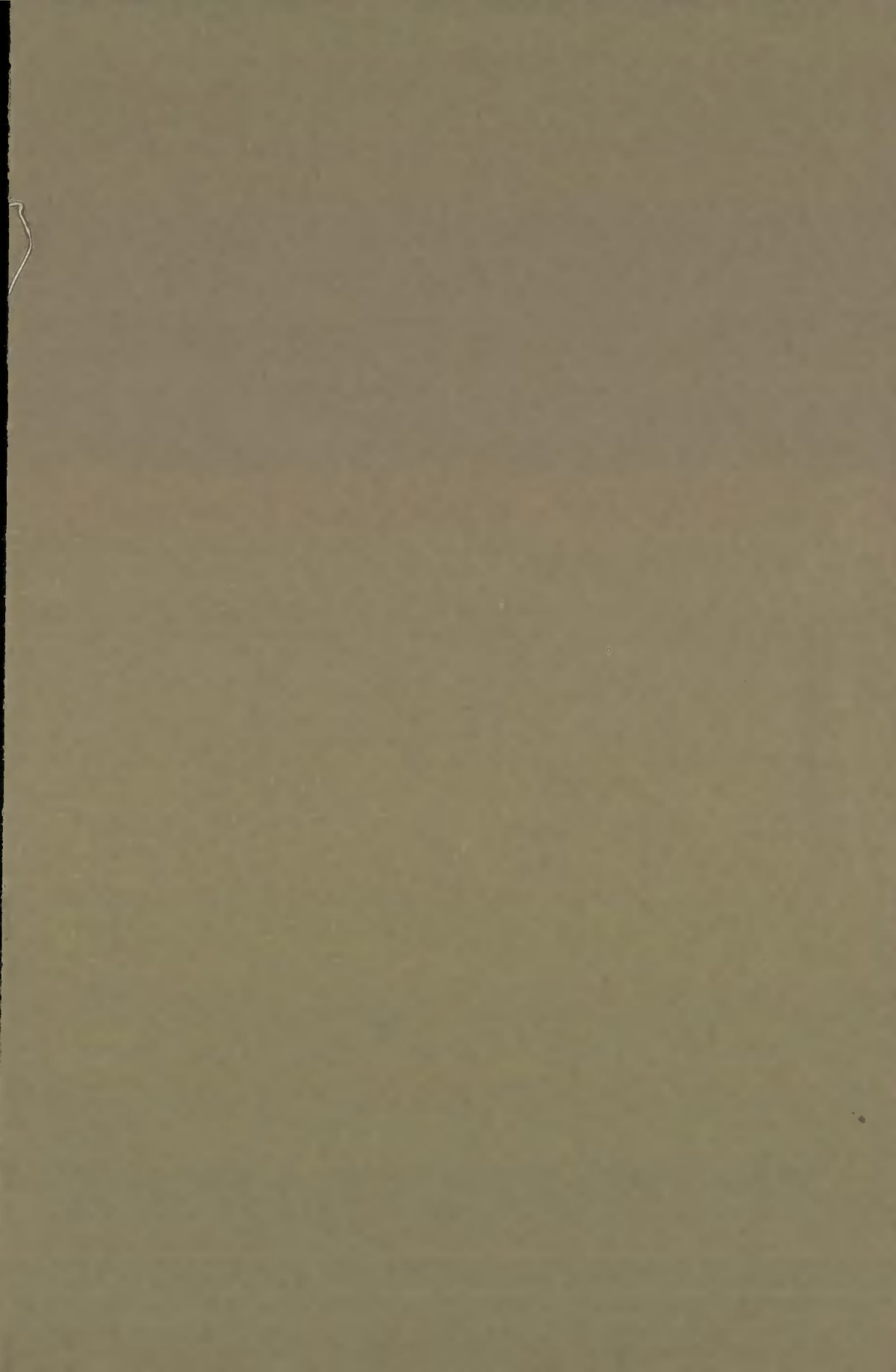
- ALLAN, W. 1965. The African husbandman. — Oliver and Boyd, Edingburgh, Scotland.
- ANTONOV, A. N. 1947. Children born during the siege of Leningrad in 1942. — *J. Pediatr.*, **30**: 250-259.
- BEHRENS, W. W. & SHANTZIS, S. B. 1973. Population control mechanisms in a primitive agricultural society. — In: MEADOWS, D. L. & MEADOWS, D. H. (ed.), *Towards global equilibrium* (collected papers). Wright Allen Press, Cambridge, Mass.
- BENNETT, H. H. 1939. Soil conservation. — McGraw-Hill Book Cy, Inc., New York.
- BLAYO, Y. 1967. Mortalité: niveau dans « Afrique noire ». Madagascar, Comores. — *Démographie comparée* — Tome I. INED-Paris — 1 vol., stencillé.
- BONTE, M. & VAN BALEN, H. 1969. Prolonged lactation and family spacing in Rwanda. — *J. biosocial Sci.*, **1**: 97-100.
- BOSERUP, E. 1965. The conditions of agricultural growth — the economics of Agrarian change under population pressure. — Allen and Union, Lond.
- BROCK, J. F. & AUTRET, M. s.d. Le kwashiorkor en Afrique. — Organisation Mondiale de la Santé: Série de Monographies, n° 8.
- BROOKFIELD, G. 1962. Cité par GODELIER 1966.
- CANTRELLE, P. & LERIDON, H. 1971. Breast feeding, mortality in childhood and fertility in a rural zone in Senegal. — *Population Studies*, **25**.
- CARAËL, M. 1976. Post-partum amenorrhea sursociated with malnutrition (Kivu, Zaïre). Center for Disease Control. 1973. Nutritional Surveillance in through affected areas of West Africa (Mali, Mauritania, Niger, Upper Volta), August-September 1973, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Atlanta, Georgia.
- CHEN, L. C., AHMED, S., GESCHE, M. & MOSLEY, W. H. A. 1974. Prospective study of birth interval dynamics in rural Bangladesh. — *Population Studies*, **28**: 277-297.
- CLAIRIN, R. 1968. Évaluation de la mortalité infantile et juvénile d'après les données disponibles en Afrique. — In: CALDWELL, J. C. & OKONJO, C., *La population de l'Afrique tropicale*. The population Council, New York, pp. 267-285. (1971 pour l'édition française).
- COALE, A. J. 1968. Estimations de la fécondité et de la mortalité en Afrique tropicale. In: CALDWELL, J. C. & OKONJO, C., *La population de l'Afrique tropicale*. The population Council, New York, pp. 243-251. (1971 pour l'édition française.)
- COPPENS, G. 1925. Enquête sur la mortalité infantile au Congo belge. — *Rev. Œuvre nationale de l'Enfance*, **7**: 20-28.
- 1924. La mortalité infantile au Congo belge. — *Rev. Œuvre nationale de l'Enfance*, **5**: 678-684.
- 1925. *Id.* **6**: 552-559.
- CUYPERS, J. B. 1970. L'alimentation chez les Shi. — *Ann. Mus. r. Afr. centr.* (Tervuren), Sciences Humaines, **67**. Série in-8°.
- DE L'ÉPINE, Ch. 1929. Historique des famines et disettes dans l'Urundi. — *Bull. agric. Congo belge*, **20**: 440-442.
- DUMONT, R. 1960. Décolonisation et développement agricole au centre-est de l'Afrique: le Rwanda-Urundi. — *Rev. Tiers-Monde*, **1**: 421-445.
- EVERAERTS, E. 1947. Monographie agricole du Rwanda-Urundi. — Publication de l'Agriculture et de l'Élevage, Ministère des Colonies (Bruxelles).
- F.A.O. 1957. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (F.A.O.). Les besoins en calories. *Études de Nutrition*, n° 15.
- F.A.O. — O.M.S. 1965. Besoins en protéines. Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.): Série des rapports techniques n° 301 et Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (F.A.O.): *Études de Nutrition*, n° 37.
- F.A.O. — O.M.S. 1973. Besoins énergétiques et besoins en protéines. Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.): Série des rapports techniques n° 522 et Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (F.A.O.): *Études de nutrition*, n° 52.
- FORRESTER, J. W. 1961. Industrial dynamics. — The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts.
- FORRESTER, J. W. 1968. Principles of Systems. — (Preliminary edition, ten chapters) Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts.
- FORRESTER, J. W. 1971. World dynamics. Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts.

- FRISCH, R. E. 1974. A method of prediction of age of menarche from height and weight at ages 9 through 13 years. — *Pediatrics* 53: 384-390.
- FRISCH, R. E. & REVELLE, R. 1971. Height and weight at menarche and a hypothesis of menarche. — *Archives of Disease in Childhood*, 46: 695-701.
- FRISCH, R. E. & MCARTHUR, J. W. 1974. Menstrual cycles: Fatness as a determinant of minimum weight for height necessary for their maintenance or onset. — *Science* 185: 949-951.
- GODELIER, M. 1966. Rationalité et irrationalité en économie. — F. Maspéro (Paris).
- GOUROU, P. 1953. La densité de la population au Ruanda-Urundi — Esquisse d'une étude géographique. — *Mém. Inst. r. colon. belge*, Cl. Sci. nat. méd., sér. in-8°, 21 (6), 239 pp.
- GOUROU, P. 1955. La densité de la population rurale au Congo belge. — *Mém. Acad. r. Sci. Colon.*, Cl. Sci. nat. méd., nouv. sér. in-8°, 1 (2), pp. 84-97.
- HECOQ, J. & LEFEBVRE, A. 1959. Éléments de la production agricole du Bushi (Kivu, Territoire de Kabene). Recherche de la superficie nécessaire par famille. — *Bull. agric. Congo belge*, 50: 285-294.
- HECOQ, J., LEFEBVRE, A., VERCRUYSE, E. & VAN WANBEKE, A. 1963. Agriculture et structure économique d'une société traditionnelle au Kivu (Congo). — Publications de l'Institut national pour l'Étude agronomique du Congo (INEAC), Série Scientifique, n° 103.
- HENRY, L. 1964. Mesure du temps mort en fécondité naturelle. — *Population*, 19: 486-514.
- HIERNAUX, J. 1956. Analyse de la variation des caractères physiques humains en une région de l'Afrique Centrale: Ruanda-Urundi et Kivu. — *Ann. Mus. r. Congo belge*, Tervuren, Sci. Humaines. Série in-8°.
- JAIN, A. K., HSU, T. C., FREEDMAN, R. & CHANG, M. C., 1970. Demographic aspects of lactation and post-partum amenorrhea. — *Demography*, 7: 255-271.
- JASPAR, H. 1929. Le Ruanda-Urundi, pays à disettes périodiques. Les causes et les remèdes du déficit alimentaire. — *Congo*, 2: 1-21.
- JELLIFFE, D. B. 1955. Infant Nutrition in the Subtropics and Tropics. — Organisation Mondiale de la Santé, Genève. Monographie n° 29.
- KASHAMURA, A. 1973. Famille, Sexualité et Culture. Essai sur les mœurs sexuelles et les cultures des Grands Lacs africains. — Bibliothèque Scientifique, Payot, Paris.
- KEVERS, G. 1952. Monographie des groupements Mugabo-Mumoshu en territoire de Kabene. — *Bull. agric. Congo belge*, 43: 967-978.
- KEVERS, G. 1953. Contribution à l'étude du Kivu — Monographie du groupement politique de Chigoshole en territoire de Kabene. — *Bull. agric. Congo belge*, 44: 961-980.
- KEVERS, G. 1956. Contribution à l'étude du Kivu — Monographie de la région de Wabungu en Territoire de Kabene. — *Bull. agric. Congo belge*, 47: 1243-1262.
- KEVERS, G. & OSTYN, P. 1955. Les cartes d'utilisation des sols dans l'Est du Congo belge. *Bull. agronom. Congo belge*, 46: 1361-1366.
- KEYS, A., BROZEK, J., HENSCHEL, A., MICKELSEN, O. & TAYLOR, H. 1950. The biology of human starvation. — Vol. 1 and 2. The University of Minnesota Press, Minneapolis.
- LE ROY LADURIE, E. 1973. L'aménorrhée de famine (XVII-XX<sup>e</sup> siècle). — In: Le territoire de l'historien. Bibliothèque des Histoires N.R.F. Éditions Gallimard, pp. 331-348.
- LEURQUIN, Ph. 1960. Le niveau de vie des populations rurales du Ruanda-Urundi. — Nauwelaerts, Louvain. Béatrice Nauwelaerts, Paris, 420 pp.
- LEURQUIN, Ph. 1963. Agricultural change in Ruanda-Urundi. — *Food Research Institute Studies (FRI)*, 4: 39-89.
- LORIMER, F., BRASS, W. & VAN DE WALLE, E. 1965. The African world: A survey of social research. — Princeton University Press.
- MAQUET, J. J. 1954. Le système des relations sociales dans le Rwanda ancien. — *Ann. Mus. r. Congo belge* (Tervuren), Série in-8°, Sci. humaines, Ethnologie.
- MAQUET, J. J. 1969. Institutionnalisation féodale des relations de dépendance dans quatre cultures interlacustres. — *Cahiers d'Études africaines*, 9: 402-414.
- MEADOWS, D. L. & MEADOWS, D. H. (ed.) 1973. Toward global equilibrium: collected papers. — Wright-Allen press, Cambridge, Mass.
- MOELLER, A. 1936. Les grandes lignes des migrations des Bantous de la province orientale du Congo belge. — *Mém. Inst. r. colon. belge*, Cl. Sci. mor. pol., sér. in-8°, 6: 578 pp.
- NEESEN, V. 1956. Aspects de l'économie démographique du Ruanda-Urundi. — *Bull. Inst. Rech. Économ. Soc.*, 22: 473-504.

- PAGES, A. 1933. Un royaume hamite au centre de l'Afrique. — *Mém. Inst. r. colon. belge*, Cl. Sci. mor. pol., sér. in-8°, 1, 703 pp.
- PÉCROT, A. & LÉONARD, A. 1960. Carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda-Urundi, 16. Dorsale du Kivu — A, B et C. — Notice explicative de la carte des sols et de la végétation. — Publications de l'Institut national pour l'Étude agronomique du Congo belge (I.N.E.A.C.) — Bruxelles, 4 cartes.
- PEEMANS, J. Ph. 1975. The social and economic development of Zaïre since independence: an historical outline. — *African Affairs*, 74: 148-179.
- PEREZ, A., VELA, P., POTTER, R. & MASNICK, G. S. 1971. Timing and sequence of resuming ovulation and menstruation after childbirth. — *Population Studies*, 25: 491-503.
- PICARDI, A. C. 1976. Practical and ethical issues of development in traditional societies: insights from a system dynamics study in pastoral West Africa. — *Simulation*, pp. 1-9, January 1976.
- PICARDI, A. C. & SEIFERT, W. W. 1976. A tragedy of the commons in the West African Sahel. — *Technology Review*, 78: 1-10.
- POTTER, R. G. 1963. Birth intervals: structure and change. — *Population Studies*, 17: 155-166.
- POTTER, R. G., NEW, M. L., WYON, J. B. & GORDON, J. E. 1965. Application of field studies to research on the physiology of human reproduction: lactation and its effects upon birth intervals in eleven Punjab villages, India. — In: SHEPS, M. C. & RIDLEY, J. C. (Ed.). *Public Health and Population changes*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, pp. 377-399.
- PUGH III, A. L. 1974. *Dynamo II, user's manual*. M.I.T. Press, Cambridge, Mass., Londres, 4<sup>er</sup> ed.
- RAHIER 1925. Tableau démographique d'ensemble de la partie Barombo du territoire d'Amadi. — *Rev. Œuvre nationale de l'Enfance*, 6, hors texte entre les pp. 898-899.
- RAJALAKSHMI, R. 1971. Reproduction performance of poor Indian women on a law plane of nutrition. — *Tropic. Geogr. Med.*, 23: 117-125.
- RICHARD-MOLARD, J. 1952. Afrique occidentale française.
- RODHAIN, J. 1926. Rapport sur la situation sanitaire générale des enfants indigènes au Congo belge. — *Rev. Œuvre nationale de l'Enfance*, 7, 985-1002.
- ROMANIUK, A. 1967. La fécondité des populations congolaises. — Mouton, Paris.
- SALBER, E. J., FEINLEIB, M. & MACMAHON, B. 1966. The duration of post-partum amenorrhea. — *Am. J. Epidem.*, 82: 347-358.
- SAUCIER, J. P. 1972. Correlates of the long post-partum taboo: a cross-cultural study. — *Current Anthropology*, 13: 238-248.
- SAUTTER, G. 1962. A propos de quelques terroirs d'Afrique occidentale. Essai comparatif. — *Études Rurales*, 24-87.
- SCRIMSHAW, N. S., TAYLOR, C. E. & GORDON, J. E., 1968. Interactions of Nutrition and Infection. WHO Monograph Series n° 57 — Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- SMITH, C. A. 1947. Effects of maternal undernutrition upon the newborn infant in Holland (1944-1945). — *J. Pediatr.*, 30: 229-243.
- SOM, R. K. 1968. Quelques indicateurs démographiques pour l'Afrique. — In: CALDWELL, J. C. & OKONJO, C., *La population de l'Afrique tropicale*. The population council, New York, pp. 252-266 (publié en 1971 pour l'édition française).
- SYS, C. *et al.* 1961. La cartographie des sols au Congo. Ses principes et ses méthodes. — Publ. Institut national pour l'Étude agronomique du Congo (I.N.E.A.C.), Sér. techn., n° 66.
- TIETZE, C. 1961. The effect of breastfeeding and the rate of conception. — In: *Proceedings of Conference of the International Population Union, 1961 (London, 1963)*, 2: 129-136.
- TONDEUR, G. 1949. Surpopulation et déplacement des populations. — *Bull. agric. Congo belge*, 40: 2325-2352.
- TONDEUR, G. 1952. Le laboratoire agricole de la Kahawa. *Bull. agric. Congo belge*, 43: 3-36.
- TONDEUR, G. 1955. Le paysannat indigène dans le programme de la M.A.E. (mission antiérosive). — *Bull. agric. Congo belge*, 46: 853-892.
- VANDENPLAS, A. 1943. La pluie au Congo belge. — *Bull. agric. Congo belge*, 34: 273-396.
- VANSINA, J. 1962. L'évolution du royaume rwanda des origines à 1900. — *Mém. Acad. r. Sci. Outre-mer*, Cl. Sci. mor. pol., nouv. sér. in-8°, 26 (2), 101 pp.
- VIDAL, C. 1974. Économie de la société féodale rwandaise. — *Cah. Et. Afr.*, pp. 52-73.
- VIS, H. L. 1976. Analyse de la situation nutritionnelle dans la région des grands lacs d'Afrique centrale (L'impasse démographique). — *Rev. Tiers Monde*, 16: 567-594.

- VIS, H. L., POURBAIX, C., THILLY, C. & VAN DER BORGHT, H. 1969. Analyse de la situation nutritionnelle de sociétés traditionnelles de la région du lac Kivu: les Shi et les Haon. Enquête de consommation alimentaire. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **49**: 353-419.
- VIS, H. L., YOURASSOWSKY, C. & VAN DER BORGHT, H. 1972. Une enquête de consommation alimentaire en République Rwandaise. — Institut national de Recherche scientifique (Butare, République Rwandaise), Publication n° 10.
- 1975a. A nutritional Survey in the Republic of Rwanda. — *Ann. Mus. r. Afr. Centr.* Tervuren, sér. in-8°, *Sci. Hum.*, n° 87.
- VIS, H. L., BOSSUYT, M., HENNART, Ph. & CARAËL, M. 1975b. The health of mother and child in rural Central Africa. — *Studies in Family Planning*, **6**: 437-441.
- WOLFERS, D. & SCRIMSHAW, S. 1975. Child Survival and intervals between frequencies in Guagaquil. Ecuador. — *Population Studies*, **29**: 479-496.
- WRAY, J. D. & AGUIRRE, A. 1969. Proteins-calories malnutrition in Candelaria, Columbia. — *J. trop. Paediatr.*, **15**: 92.
- WYON, J. B. & GORDON, J. E. 1971. The Khana Study. — Harvard University Press, Cambridge, Mass., 438 pp.
- YERUSHALMY, J. 1945. On the interval between successive birth and its effects on survival of infant. — *Human Biol.*, **17**: 65-106.





Achevé d'imprimer le 24 décembre 1986  
par l'imprimerie  
Duculot S.A., B-5800 Gembloux

Gedrukt op 24 december 1986  
door drukkerij  
Duculot N.V., B-5800 Gembloux