

Working Papers are made available in limited numbers for comment and discussion and to inform interested colleagues about work in progress at ICRAF. Views expressed are those of the author(s) and should not be taken to represent the views of ICRAF or of any other organization. Comments and suggestions are invited; they should be directed to the author(s).



ICRAF

International Council for Research in Agroforestry
Conseil international pour la recherche en agroforesterie
Consejo Internacional para Investigacion en Agrosilvicultura

ICRAF House, Off Limuru Road, Gigiri, P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya
Telephone: (254-2) 521450, Telex: 22048, Telefax: 521001, Cable: ICRAF, E-Mail CGI:236

NO 59

Introduction to
the concepts of
agroforestry

Introduction aux
concepts de
l'agroforesterie

Emmanuel Torquebiau

June 1990

PREAMBLE

The purpose of this working paper is two-fold. First, as the title says, it intends to present the main concepts of agroforestry and it has been used for that as supporting notes to an introductory lecture at the regular ICRAF training course on "Agroforestry Research for Development".

Additionally, this document has been designed as a bilingual one, English and French, in order not only to be accessible to readers from both languages, but also to serve as a cross reference between the two languages for some agroforestry terms.

Since a large part of the agroforestry literature available at ICRAF is in English, this cross reference checking will be specially useful for Francophone readers and the English equivalent of a number of technical terms has been added in the French version to serve this purpose.

PREAMBULE

Ce document de travail a deux objectifs. Il est avant tout destiné, comme le titre l'indique, à présenter les principaux concepts de l'agroforesterie. Il a déjà été utilisé à cet effet, en tant que notes d'enseignement accompagnant le cours d'introduction du stage régulier de VICRAF "Recherche en Agroforesterie pour le Développement".

Ce document a par ailleurs été conçu en deux langues, anglais et français, afin d'être accessible aux lecteurs des deux expressions, mais aussi de manière à pouvoir être utilisé à des fins de vérification croisée entre les deux langues pour certains termes agroforestiers.

Dans la mesure où la plus grande partie de la documentation disponible à l'ICRAF est en anglais, cette possibilité de vérification croisée devrait s'avérer utile pour le lecteur francophone essentiellement. À cet effet, l'équivalent anglais d'un certain nombre de termes techniques a été mentionné dans le texte en français.

The first version of the text was initially written in French and translated into English by a freelance translator. Subsequently, two more versions were produced, both in French and English, and the author himself updated both texts. As a result, some modifications have been introduced in either language and the two versions cannot always be considered as exact equivalents.

La première version du document fut écrite en français et traduite en anglais par un traducteur libre. Par la suite, deux versions supplémentaires furent produites, à la fois en français et en anglais, et mises à jour par l'auteur lui-même, de sorte que des modifications ont été introduites dans les deux textes, qui ne peuvent donc pas être considérés comme des équivalents exacts.

TABLE OF CONTENTS / TABLE DES MATIERES

ENGLISH TEXT.....	7
FOREWORD.....	9
1. DEFINITION.....	11
2. MULTIPURPOSE TREES.....	16
3. MAIN ADVANTAGES OF AGROFORESTRY.....	17
4. SUSTAINABILITY.....	18
5. MULTIDISCIPLINARITY.....	19
6. THE SYSTEMS APPROACH.....	20
7. AGROFORESTRY SYSTEMS.....	22
8. AGROFORESTRY TERMINOLOGY.....	24
8.1 Practice.....	24
8.2 Technology.....	24
8.3 Traditional practice.....	26
8.4 Intervention.....	26
9. STRUCTURAL ANALYSIS OF AGROFORESTRY SYSTEMS.....	26
9.1 Presence.....	26
9.2 Arrangement.....	27
10. FUNCTIONAL ANALYSIS OF AGROFORESTRY SYSTEMS.....	31
10.1 Management.....	31
10.2 Performance.....	32
11. THE MAIN AGROFORESTRY TECHNOLOGIES.....	33
11.1 Criteria of classification of the technologies.....	33
11.2 Crops or animal production under tree cover.....	38
11.2.1 Crops under tree cover.....	38
11.2.2 Animal production under tree cover.....	41
11.3 Agroforests.....	44
11.4 Agroforestry technologies in a 1 inear arrangement.....	47
11.5 Hedgerow intercropping.....	50
11.6 Sequential agroforestry technologies.....	54
11.7 Other technologies.....	57
11.7.1 Aquaforestry.....	57
11.7.2 Entomoforestry.....	58
11.8 The agroforestry continuum.....	59
TEXTE FRANQAIS.....	61
AVANT-PROPOS.....	63
1. DEFINITION.....	65
2. ARBRESA USAGES MULTIPLES.....	70
3. LESATOUTSMAJEURSDE L'AGROFORESTERIE.....	71
4. "SUSTAINABILITY".....	72
5. MULTIDISCIPLINARITE.....	74
6. L'APPROCHE SYSTEMIQUE.....	75
7. SYSTEMESAGROFORESTIERS.....	77

8. TERMINOLOGY DE L'AGROFORESTERIE.....	78
8.1 Pratique.....	79
8.2 Technologie.....	79
8.3 Pratique traditionnelle.....	81
8.4 Intervention.....	81
9. ANALYSE STRUCTURALE DESSYSTEMESAGROFORESTIERS.....	81
9.1 Presence.....	81
9.2 Disposition.....	82
10. ANALYSE FONCTIONNELLE DESSYSTEMESAGROFORESTIERS.....	86
10.1 Gestion.....	87
10.2 Productivity.....	88
11. LES PRINCIPALES TECHNOLOGIES AGROFORESTIERES.....	89
11.1 Critères de classification des technologies.....	89
11.2 Cultures ou production animale sous couvert arboré.....	94
11.2.1 Cultures sous couvert arboré.....	94
11.2.2 Production animale sous couvert arboré.....	97
11.3 Agroforets.....	99
11.4 Technologies agroforestières en disposition linéaire.....	104
11.5 Cultures en couloirs.....	107
11.6 Technologies agroforestières séquentielles.....	110
11.7 Autres technologies.....	114
11.7.1 Aquaforestier.....	114
11.7.2 Entomoforestier.....	115
11.8 Le continuum agroforestier.....	116
REFERENCES / BIBLIOGRAPHIE.....	19

ENGLISH TEXT

FOREWORD

The purpose of the following notes is to introduce the basic concepts of agroforestry and the way in which ICRAF approaches this new and complex discipline.

The subject has been discussed progressively, moving from general to specific topics. However, this has not always been possible, especially when using examples to illustrate certain concepts. When this occurs, readers can refer to the description of the main agroforestry technologies, where they will find the most important points on topics that may be new to them.

This document does not claim to be an exhaustive work on the subject. Its objective is to present the main foundations of agroforestry and to familiarize the reader with the jargon used in the agroforestry milieu. It is not meant to be a definitive work: agroforestry is a young, ever-evolving discipline. It is likely, therefore, that many of the ideas expressed here will be revised and modified in the years to come.

Much use has been made of the literature published by ICRAF staff. Moreover, some ideas found in this article originated during informal discussions with different people at ICRAF. It is difficult to thank each person individually, so perhaps it is simpler to say that this work is in part the fruit of an ICRAF group effort. Any errors or omissions are, nevertheless, the fault of the author alone.

This document has mainly been developed for training purposes, specially the classification of agroforestry technologies which appears in part II and which has been used for some time as the basis for a series of lectures given at the ICRAF regular training course on " Agroforestry Research for Development".

1. DEFINITION

"Agroforestry is a collective name for all land use systems and practices where woody perennials are deliberately grown on the same land management unit as agricultural crops and / or animals, either in spatial mixture or in temporal sequence. There must be significant ecological and economic Interaction between the woody and non-woody components" (Lundgren, 1987). This definition, which is the one used at ICRAF, clearly indicates the multifaceted nature of agroforestry. One speaks of agroforestry when dealing with land that is to be used for several products, not just one, and when some of these products come from crops or animals, whereas others come from trees or other woody plants. In addition, agroforestry has a number of service roles which are important in land management.

Woody plants, sometimes called **ligneous plants**, are plants that contain lignin, an organic substance that impregnates and unites the cells and fibers of the plant, whose tissues are arranged in such a way that they take on the characteristics of wood. Woody plants are, with rare exceptions, **perennial**, which means that they last several growing seasons.

Trees, which are woody perennial plants having a single main stem, constitute the majority of the ligneous plants. It is usually accepted that, to be called a tree, the plant needs to be of a minimum size of about 7m.

Single-stemmed woody perennials which are less than 7m high can be called **small trees**, as an equivalent of the French word *arbuste*.

Shrubs are small, usually multi-stemmed woody plants, while a **bush** is a low, densely branched shrub.

Woody vines also belong to ligneous plants, and generally require a support.

Bamboos, although they do not contain lignin, are considered to be the same class as woody perennials in agroforestry.

Trees or other woody perennials, seasonal plants, and animals are called the components or **elements** of agroforestry. Seasonal plants are generally herbaceous and are often called crops or "annual crops" because of an analogy with temperate countries where the plant-growing season is annual.

The second part of the definition of agroforestry shows that, the beneficial, the juxtaposition of the different components must have positive effect on the entire landuse system through the ecological and economic interactions between these components. The interactions, whether they are ecological or economic, can be positive or negative. The interaction is complementary if the presence of one component increases the yield of the other, neutral if one has no effect on the other, and competitive if the presence of one reduces the yield of the other. The aim of agroforestry is to identify positive interactions and maximize them while trying to reduce negative interactions.

The main ecological interactions are about climate (light, temperature, humidity, wind), soil (organic matter, nutrients, erosion), biological resources (plants and animals) and the space available for growth. These interactions are graphically summarized on Figure 1.

Figure 2 shows how the positive or negative Interaction between trees and crops can be translated into economic terms. In the example shown, monoculture is compared to a case in which trees occupy 25% of the cultivated land. One assumes there is a direct negative action of the tree on the crops (light and root competition) within a distance of 2 meters. The area where the tree interacts directly with the crops (not always negatively) is called **tree/crop Interface**. Although the Interaction is negative in the interface shown in Figure 2, trees may have a positive impact on crops' yields, by controlling erosion on the plot or improving soil fertility.

There are three situations to be considered on Figure 2. In the first case, crop yield beyond the interface is not better than in monoculture, and the entire yield of the agroforestry association is lower than that of the monoculture. In the second case, the presence of trees improves crop yield 40% beyond the area of the interface. That is not enough to compensate for the reduction of the surface area available for growing crops, and the negative interface effect, and the entire yield is, again, lower. There is, however, a slightly higher financial gain brought about by the products derived from trees. This is one of the advantages of diversifying land production through agroforestry. In the third case, erosion control and soil fertility improvement result in a much larger total crop yield, thus a greater increase in profits.

In this simple example, the time factor was not taken into account. In reality, it is most likely that the Interaction between trees and crops will evolve throughout the seasons. An association may have negative or neutral interactions at first, but these may soon become positive once, for example, soil fertility has improved and erosion has been controlled through trees' presence.

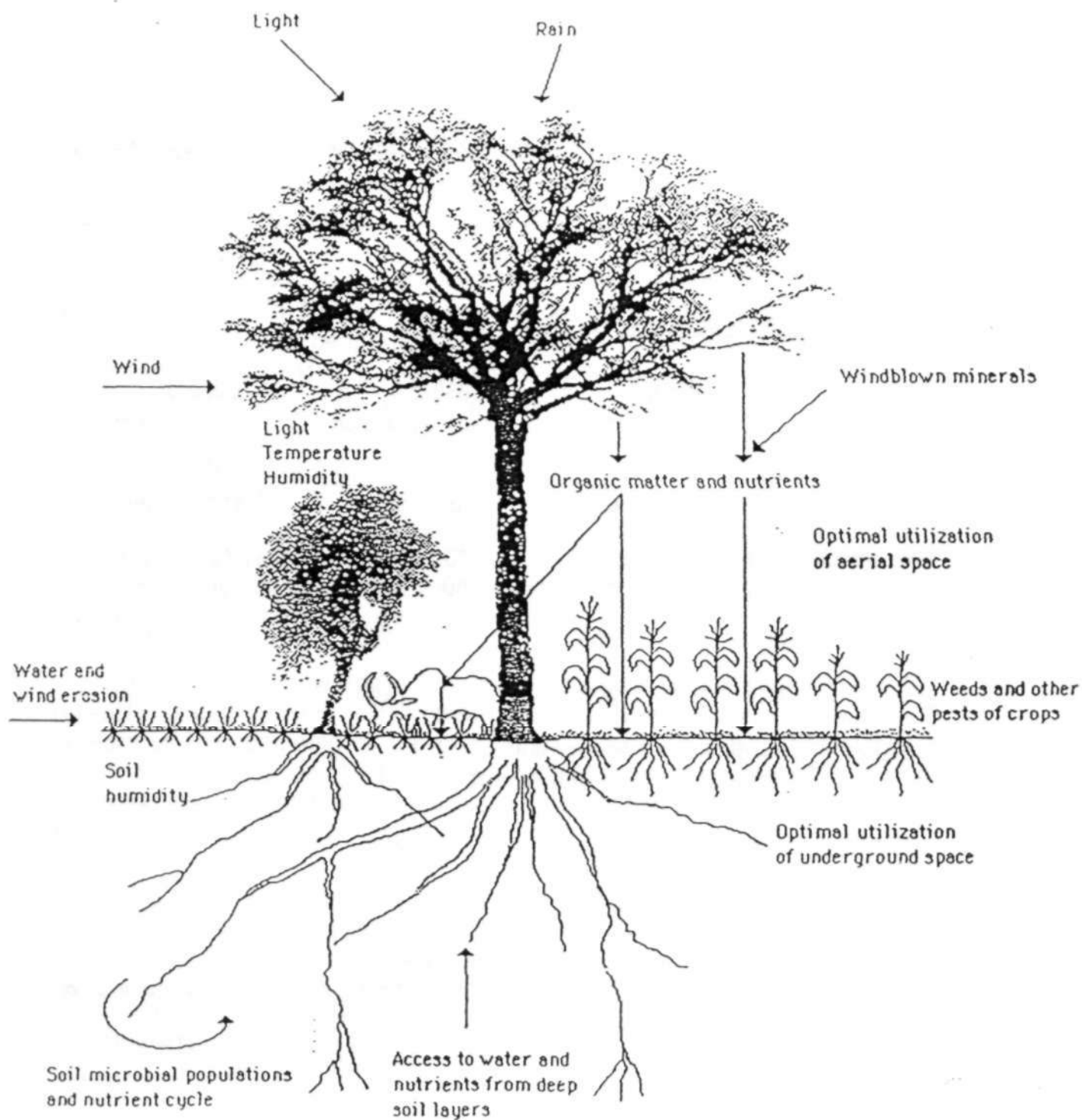
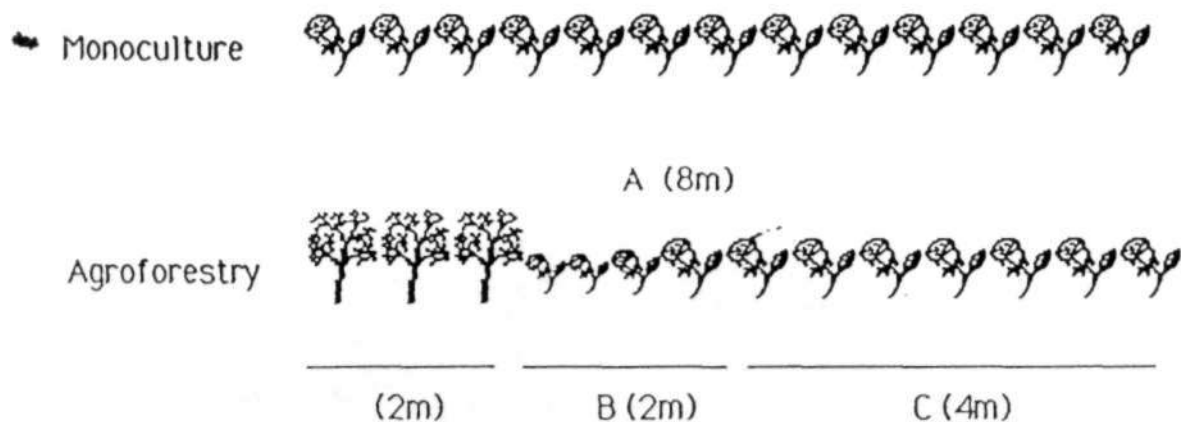


Figure 1 - Main areas of ecological interactions in agroforestry



Crop yield and production (arbitrary units)

	Case 1		Case 2		Case 3	
	Yield per m	Production	Yield per m	Production	Yield per m	Production
Monoculture: Unit A	100	800	100	800	100	800
Agroforestry: Unit B	50	100	70	140	90	180
Unit C	100	400	140	560	180	720
TOTAL CROPS		500		700		900
TREES		200		200		200

Value 1 crop unit = 1 money unit
1 tree unit = 0.75 money unit

MONOCULTURE	800	800	800
AGROFORESTRY	650	850	1050
	Case 1: Lost production	Case 2: Reduced crop production but economic compensation	Case 3: Increased crop and total production

Figure 2 - Tree / crop displacement, yield, production and value (Young, 1989)

The interactions' between crops and animals are not enough to make up an agroforestry landuse system: the presence of woody perennials is necessary for the system to be considered as agroforestry. Mixed cropping is not agroforestry either (although part of the wide knowledge existing on mixed cropping could be applied to agroforestry).

In technical terms, agroforestry is a science that distinguishes itself from both agriculture and forestry. Its objective is to optimize positive interactions between the woody and nonwoody components, so that the production system may be more sustainable and diversified than with a conventional approach under given agroecological and socioeconomic conditions (Lundgren, 1987).

In more prosaic terms, agroforestry is, in a number of cases, the art of planting trees in fields. The expression "farm forestry" is also used sometimes, but it can be misleading since pure forestry can sometimes be called farm forestry if it is implemented by farmers. The same holds true for social forestry. One can also give a "default definition" of agroforestry: any tree planting which is not forestry or arboriculture with the classical meanings of these terms, is agroforestry. It is this way of looking at agroforestry which allows to include in it things like village woodlots, or road-side tree planting, although the non-woody components and the interactions between components do not always exist. An even broadest way of looking at this is to say that any tree under farmer's management, and for the benefit of the farm, is agroforestry.

ICRAF has acknowledged this broad approach to agroforestry and has recently stated (ICRAF, 1990) that the definition of agroforestry as it appears at the beginning of the present document has been developed for scientific purposes, and that, for development purposes, there is no reason to draw sharp distinctions between agroforestry, horticulture, farm forestry and other uses of land involving trees.

The term "agroforestry" itself has been a subject of debate (see Stewart, 1981). One reason for this is the fact that the majority of agroforestry technologies do not have similarities with forests (or, if they do, are not managed like forests, see e.g. the homegardens) but rather with agricultural fields. A term like "agro-arboriculture" could have been better. However, the term agroforestry being now in common use, it is out of the question to change it.

Mixing trees, crops, and/or animals can take on many shapes and forms, from alternating rows of crops and trees pruned into hedges, to animals grazing under trees, not to mention aquaculture in mangrove areas, beekeeping in trees, tree fallows, windbreaks, live hedges, and homegardens and other forest gardens, etc. One can, nevertheless, divide the

different associations into six main simple structural categories (see the section: "Main Agroforestry technologies").

Agroforestry is essentially meant for smallholder farmers who live partially from subsistence agriculture, but there are also agroforestry practices that can be used in intensive land use systems on large-scale farms.

2. MULTIPURPOSE TREES

In agroforestry, the tree is considered to be a multipurpose tree (often abbreviated as MPTS for "multipurpose trees and shrubs"). "Multipurpose" means that the tree plays several roles in the production system. One of these roles is that of the production factor itself; for example, in the production of wood, fruit, fodder, green manure, or medical substances.

Another group of roles includes the "service" rendered by the tree, for example, in providing shade for light-sensitive plants; controlling erosion; improving water infiltration through their deep root system; fixing nitrogen from the atmosphere, which enriches the soil; as living hedges indicating plot boundaries; as windbreaks; eliminating weeds; not to mention the important sociocultural role that the tree plays in many civilizations.

If one recognizes that all trees necessarily produce wood, provide shade, and can stabilize the soil through their root system, one may conclude that all trees are virtually multipurpose trees. However, multipurpose trees are considered to be those that are **deliberately** grown, kept or managed for more than one use, of either production or service nature (adapted from Huxley and von Carlowitz, in Huxley, 1984).

Among the group of multipurpose trees, the subgroup of nitrogen-fixing trees is worth noting. These trees are able to fix nitrogen from the atmosphere through symbiotic micro-organisms present in root (and sometimes stem) nodules. They thus increase the nitrogen in the soil through the litter that accumulates on the soil and through the decomposition of the nodules and roots. This supply of nitrogen can have a beneficial effect on the crops planted in association with these trees. In addition, many of these trees (the majority of which belong to the Leguminosae family) are also fast-growing and produce fodder. All things considered, it is understandable why they are so highly regarded in the field of agroforestry.

The most famous of these trees is *Leucaena leucocephala* (Leg. Mimosaceae). It grows remarkably fast (up to 3-4 meters per year

(Brewbaker, 1987), fixes nitrogen, and can be used for fuelwood production, fodder, poles, paper pulp, live hedges, etc. However, It would be risky to make it seem like the universal panacea for agroforestry: there are several thousand potential multipurpose trees and several hundred whose uses and management practices are quite well documented (von Carlowitz, 1985, 1986).

3. MAIN ADVANTAGES OF AGROFORESTRY

Agroforestry combines production and service.

The main products of multipurpose trees are fuelwood (including charcoal), fodder and food. Other products, which are found less frequently, include medical substances, gums and resins, tannins, essential oils, fibers, and waxes (von Carlowitz, 1986).

The main service roles of agroforestry are:

- Soil conservation, either erosion control (presence of a permanent soil cover, barrier effect against run-off), soil fertility maintenance (incorporation of organic matter into the soil, nutrient pumping from the deep layers of the soil through the tree's roots, these nutrients then improving the crops through litter and mulch) or soil physical properties maintenance (see Young, 1989).

- The creation of a microclimate, which can be beneficial to certain plants or animals, for example modifications of light, temperature, humidity or wind, and can also help fight weed proliferation.

- A variety of sociological roles through the multitude of traditional roles that the tree plays in many civilizations.

Its ability to combine production and resource conservation gives agroforestry its undeniable quality of sustainability (see the section "Sustainability") (Young, 1988b).

Although agroforestry is not a priori an ideal solution to all of the problems: of rural development, associating trees and other agricultural components does provide many benefits that assist in solving well-known problems in three main agroecological zones of the tropics (Lundgren, 1987):

- lowland humid tropics, where agroforestry can play a role in maintaining soil fertility,

- areas with steep slopes (hills and mountains) where agroforestry can help to control erosion,

- semi-arid and subhumid zones, which are used extensively for grazing, where agroforestry can help in the struggle against desertification (see Baumer, 1987).

Moreover, the combination of several types of products, which are both subsistence and income generating, helps farmers to meet their basic needs and minimizes the risk of the production system's total failure.

4. SUSTAINABILITY

The advantages of agroforestry mentioned above are not mutually exclusive, nor are they specific to each zone mentioned; they are only the most obvious, being directly related to the presence of trees. They are part of a more global concept known as sustainability.

A rural production system's sustainability corresponds to its ability to meet the ever-increasing needs of mankind, without affecting, and if possible improving, the resource base on which the system depends (Agency for International Development, 1987).

A sustainable rural production system is only one of the elements in the global concept of sustainable development that includes a series of conditions outside the rural system that are classified as economic, social, ecological, political and institutional

The main requirements of sustainable agriculture are:

- soil conservation, including erosion control and fertility maintenance;
- the efficient use and conservation of existing resources (soil, water, light, energy, genetic resources, labour);
- the use of biological interactions between the different elements of the agricultural system (for example, mulching, the association of climbing plants and supports, nitrogen fixation, and the biological control of weeds and diseases); and
- the use of inputs that are easily available and of inputs and practices that ensure both health and environmental conservation.

A type of agriculture to be used by small-scale farmers who depend both on cash crops and on subsistence crops must fulfil stricter requirements to be sustainable. These are:

- meet the farmers' energy needs (heat, labour);
- meet the farmers' needs for subsistence, so that they may be assured of having an adequate and balanced diet;
- strengthen the bonds of solidarity between local community members.

The objectives of these requirements are to help the people to withstand difficult periods caused by climatic or economic factors, to improve living conditions in rural areas while bridging the gap between production seasons, and to ensure the survival of traditional rural systems.

Finally, there are some national and International parameters that contribute more or less directly to the sustainability of rural production systems. Some of these are:

- the quality of the Infrastructure available to farmers (roads, irrigation, means of transport, etc.);
- credit opportunities, with manageable risk conditions in case of crop failure;
- access to a minimum of social infrastructures (school, health facilities, family planning); and
- direct or indirect access to national and international markets, with prices that are in relation to agricultural production costs.

Agroforestry fulfils many requirements for sustainability by including trees in agricultural production systems, by utilizing existing resources and management practices that optimize the combined production of several products instead of maximizing the production of only one product, and through its numerous service roles.

5. MULTIDISCIPLINARITY

Because of its global nature, the concept of sustainability shows the multidisciplinary nature of agroforestry.

It is conceivable that a specialized research team could attempt to take over a classic **rural production** system based **on** one product (monoculture) and solve the **particular** problems that arise. An animal production specialist could try to **solve** the feeding problems of **a** certain type of cattle, or a **forester could try to find a** tree species **that** is good for timber production in a given region.

This is not the case in agroforestry where three basic disciplines must necessarily collaborate: forestry, agronomy, and livestock raising. The objective of this collaboration is to identify the best possible combinations of the different components and to finalize a management system that takes each components requirements into account, while ensuring an optimum combined production system.

Multidisciplinarity in agroforestry goes, however, much further. Even the best combined yield can only be justified within the framework of

sustainability (see above) and will only be effective when the corresponding technologies will have been adopted by the farmers.

This means that ecologists, soil scientists, horticulturists, and different types of biologists must concentrate on existing resources and study the best way to exploit and conserve them at the same time.

Similarly, sociologists, anthropologists, rural development specialists, and economists must also tackle the problem of human resources and analyze market and subsistence constraints.

Generally speaking, there is no institutional framework that enables all of these disciplines to collaborate effectively. It is common, for example, for organizations dealing with agriculture and forestry to be completely unaware of what the other is doing, not to mention disciplines such as sociology or ecology, which are seldom integrated with other rural sciences.

One of the challenges of agroforestry is to create conditions for an efficient multidisciplinary. Agroforestry, because it tries above all to include trees in agricultural lands, should be closely involved with agricultural institutions. However, until now, forestry institutions have been the ones most concerned with agroforestry (Young, 1987). This does not mean that forestry institutions must keep a distance from agroforestry, on the contrary, because it involves planting and growing trees, which is what foresters normally do. In short, foresters and agronomists must work together.

6. THE SYSTEMS APPROACH

The **systems approach** is a tool that enables studies of real situations to be carried out in a practical manner. The system theory is employed as a guideline for farm-system description and analysis under the term **farming systems**. This is the approach used by ICRAF for diagnosing landuse systems and formulating agroforestry Interventions.

As defined by the system theory, a **system** is a set of related elements (Ruthenberg, 1980) or a way of setting up a model based upon a real or invented situation. Its objective is to group components together in an organized and simplified way. A group of interdependent components form a unit and work together. The tool "system" helps to comprehend reality and enables important factors to be emphasized.

The system is defined within a specialized framework and the system unit varies depending upon the specialization. For example, the biologist

talks about a system for an organism, an organ, or a cell; the mathematician for a series of equations; the economist for a region or a farm; and the sociologist for a population category or homestead.

The systems approach is often used as a means to descriptive or analytical-ends, but it is equally effective in management (for example, following up on factors that may improve a system's efficiency) and for making predictions (to foresee what the consequences on the system will be if a particular factor is modified).

in the rural context, a farming system can be defined as "a unique and reasonably stable arrangement of farming enterprises that the household manages according to well-defined practices in response to the physical, biological and socio-economic environments, and in accordance to the household's goals, preferences and resources" (Shaner *et al*, 1982).

Farming enterprises are all activities undertaken to produce an output that contributes to total production or income of the farm family, while the household is a social organization in which members normally live and sleep in the same place and share their meals (Shaner *et at*, *op cit*).

The systems approach has its own terminology and has some rules that are important to follow. Four characteristics must be defined in any system:

- **Boundaries** A system's boundaries are either natural or artificial and clearly define what is endogenous (internal) and exogenous (external) with relation to the system. The system, is thus defined by the **presence** of certain components.

- **Structure** This is the spatial and temporal **arrangement** of the system's endogenous components. It shows how the system's different components are arranged with relation to each other. If they are not all found simultaneously, it specifies what their temporal sequence is.

- **Function** A system's function concerns the relationship between the inputs and outputs. **Inputs** and **outputs** are anything that can be put into and come out of the system. A system's function is detailed in terms of management and productivity.
Management is the way in which inputs are changed into outputs.

Productivity, or performance is the quantified relationship between Inputs and outputs.

- State It indicates whether the system is developing, if it is stable, or in decline.

A system has only been correctly described if the first three characteristics listed above are known.

The concepts of the systems approach are currently being used in the study of agricultural production systems under the name "farming systems". These concepts can also be applied to any part of our surrounding situation, for example a city, a room, our own body.

The word "system" can have another meaning: a system can be a method of classification, a way of measuring, etc. The hexadecimal numerical system is an example of this. This meaning is, however, not used within the framework of the systems approach.

The interdependent systems can be arranged into a hierarchy. For example, a system of specialized live cells, like those of the liver, is part of the "human being" system, which is part of the "home" system, which is part of a community system, which is part of a regional system, which is part of the nation, etc. A **subsystem** is one that is included in another system of a higher hierarchical order. The analysis of one of the hierarchical systems must take the influence of the higher or lower systems into account. When some of the hierarchical levels remain unknown, they are called "black boxes".

The choice of the level of analysis in the system's hierarchy is **important. For example, one can describe and analyze a "human being" system at a general level, so that it applies to all the human beings on earth or at a detailed level so that each person may be a different system.**

7. AGROFORESTRY SYSTEMS

To illustrate the systems approach, we **will** apply **it** to an existing agroforestry situation.

Let us imagine that we are observing a landscape and trying to identify the different types of landuse systems, especially the one where a certain form of agroforestry is being practiced. Based on the definition of agroforestry (the deliberate association of woody perennials with animal or plant products), we look for the areas where trees seem to be deliberately associated with crops or livestock (this may not be visible at first, for

example, in the case of rotations) and where certain interactions between trees and other components can be seen or deduced.

We will now attempt to identify the boundaries of that area based on the definition of a system. For example, there is maize being grown as a monoculture on certain plots, whereas in other places nitrogen-fixing trees are utilized in close plantations as supports for pepper plants, yams, and with intercropped taros (cocoyams). Plots that have this combination are "agroforestry land-use systems".

This hierarchical level may be suitable if we want to study one of the plots as an isolated ecosystem. Nevertheless, it is possible that we prefer to consider it like an organized unit that is subject to the farmers' management decisions, and meeting their needs. If this is the case, the agroforestry system must also include the farmers themselves, and the different inputs used, like labour, investments made for the plantation, etc.

Two statements can be made at this stage about the use of the systems approach within the agroforestry context.

(1) We are already speaking of an agroforestry "system", even though it is only defined by the presence of certain components (trees and climbing plants) and by plot boundaries. Although these conditions are necessary, they are not enough to describe a system within the framework of the systems approach. For that it would be necessary to characterize the structure and function of the system.

(2) In the agroforestry context, the term "system" corresponds to landuse type (an agroforestry landuse type) and not, as in the classic nomenclature of farming systems, to a particular commodity: the most likely name for the above mentioned agroforestry system would be something like "tree-support system for subsistence and income-generating products," whereas the neighbouring plots used for maize are called "maize-production systems".

It is because of the multiple commodities yielded by agroforestry systems and due to the complex nature of agroforestry, that it is not possible to use a commodity oriented classification of agroforestry systems (Nair, 1985). This clearly shows the flexibility of the system's approach.

8. AGROFORESTRY TERMINOLOGY

Based on the foregoing definition of the word system and the application of the systems' approach within the agroforestry framework, an agroforestry system can be defined as "a set of Interdependent agroforestry components (trees with crops and/or animals) representing a current type of landuse in a given region". We must now describe the system as identified in more detail. Different terms have been used for that in the agroforestry literature, and sometimes in somehow contradictory fashions. The following sections indicate the main terms currently in use at ICRAF.

8.1 Practice

Nair (1985) considers that the word "practice" must be given a functional meaning and writes that an agroforestry practice denotes "a specific land-management operation of an agroforestry nature". Young (1989) insists on the structural aspect and indicates that an agroforestry practice is "a distinctive arrangement of [agroforestry] components in time and space". In both cases, "practice" remains a rather broad term. Alley cropping, boundary planting or tree fallows are agroforestry practices. In the foregoing example, the practice could be called "scattered trees in crop land" or "crops under tree cover". With this level of specifications, the number of possible agroforestry practices is rather small: Young (op cit) lists about twenty (see Table 1, p. 32).

8.2 Technology

Let's go back to the agroforestry plot identified earlier. First, the trees must be botanically identified. Then, one can observe that the trees were planted before the climbing vines (pepper and yams) in a 3 x 2 meters spacing pattern. They had been trained and cut in such a way that they were able to provide the best support possible for climbing plants, while ensuring a proper amount of light and shade. Climbing plants are planted next to the trees and attached to them in such a way that they may improve their height growth. Cocoyams are planted between tree rows. It is immediately apparent that the plot produces wood, tubers, and pepper seeds and, after more detailed observation, it becomes clear that the atmospheric nitrogen is being fixed and erosion checked. We have just described an agroforestry technology.

Von Carlowitz (1989) indicates that an agroforestry technology is a set of specifications for the roles, arrangement and management of multipurpose trees and associated components. These specifications must include the technology related tree characteristics, referred to as the Ideotype of the tree. As a result, this author proposes a modular technology

description which takes into account all the necessary specifications. For the foregoing example, we would have:

- scattered support trees in crop land (synonymous: crops under tree cover) for food, wood and cash crop production, as well as nitrogen fixation and erosion control. For a given locality, the technology's name will include species identification.

- simultaneous arrangement, regularly spaced trees (2x3m), side pruned.

- good response of the trees to side pruning, ability to fix nitrogen and good wood quality. Trees accepting climbing plants and with moderately dense foliage.

- pepper and yam vines planted next to the trees, every second tree, double row of cocoyams between rows of trees.

In common use, a practice or a technology become a system once they are well developed and commonly used in a given region in such a way that they form a well-defined landuse system for that region (Nair,1985). This is the current use of the expression "agroforestry system", as said above (see "Agroforestry systems"). For the above reason, the terms "technology", "system", and sometimes "practice", are often used one for the other in the agroforestry literature, including, and purposely so, in the present document.

The technology concept must be considered a central one in agroforestry. Given such a detail of specifications, a high number of agroforestry technologies (or agroforestry systems!, according to the author) can be defined: hundreds, possibly thousands, according to Young (1989). A technology is generally adapted to a particular site, but can be described with more or less specifications, so that its application domain is flexible. Structure and function can be defined within the context of a technology, not only within the context of a system. A technology or a set of technologies is used for agroforestry extension purposes, along with details enabling it to be utilized. Agroforestry as a scientific art is described by its technologies. For these reasons, it is the term 'technology' which will mainly be used in the subsequent parts of this document.

Young (see footnote of Table 1, p. 32) has recently opted for the word "technology"* to replace "practice", which confirms that it is probably better to keep technology for a specific, detailed arrangement of components and practice as a broader term.

8.3 Traditional practice

Once a technology has been in existence for a certain amount of time and is practiced regularly by farmers, it can be called a traditional agroforestry practice. In other words, a traditional practice is always a technology but a technology is not always a traditional practice.

A technology can be an agroforestry land-management proposal, or an on-station or on-farm agroforestry experiment, and thus not a traditional practice. The word "practice" actually includes the idea of something of an habitual, repetitive, nature, so it would be logical not to add the adjective "traditional". However, because of the different uses in the literature, it seems preferable to keep the entire expression "traditional practice".

8.4 Intervention

With the objective of analyzing farming systems, Identifying possible constraints, and proposing agroforestry solutions that should alleviate these constraints, ICRAF uses an approach known as D & D (for "Diagnosis and Design"). An agroforestry technology proposed to alleviate some of the constraints identified by a D & D exercise is called an agroforestry intervention.

Having rapidly described the agroforestry technology observed in the field (a technology that, in this particular case, is a traditional practice), we must describe the agroforestry system to which it belongs in greater detail. As indicated earlier, we must concentrate on its structure and function.

9. STRUCTURAL ANALYSIS OF AGROFORESTRY SYSTEMS

(from Huxley, 1983 and Nair, 1985)

The structural analysis of agroforestry systems allows for the proposal of a simple classification, which is the one most widely utilized, and is also the one used in this document (see para 11: The main agroforestry technologies).

9.1 Presence

The three main agroforestry components, trees, crops, and animals (or pastures) define the following structural categories, which are based on the nature and presence of these components:

- agrosilvicultural systems, trees and seasonal crops
 - **silvopastoral systems**: trees and animals / pastures
 - **agrosilvopastoral** systems: trees, seasonal crops and animals / pastures'
- There are also other systems such as apiculture in association with trees or fisheries in association with trees (aquaforestry), entomoforestry (trees with insects). They are usually classified separately, although they belong, strictly speaking, to silvopastoral systems.

Animals must generally be physically present near trees on the same plot for a system to qualify for the suffix "pastoral". For example, an alley-cropping system whose tree fodder is used for animals in a cut and carry management would be agrosilvicultural. It would only be considered agrosilvopastoral if the animals grazed on the plot.

However, this last rule is not strictly enforced. For example, woody strips in crop land for fodder production are usually called silvopastoral, even if the fodder is transported to the stable. Here, the interaction more than the juxtaposition of the components is a criteria for determining agroforestry. This last statement also applies to certain multipurpose woodlots.

9.2 Arrangement

Two aspects should be taken into account with regard to the arrangement of the components: space and time.

The spatial arrangement concerns the physical location of the components on the plot. It is also important to describe the temporal arrangement (or sequence) because the different components may either be on the plot at the same time, follow each other, or partially overlap in time.

The arrangement is generally described according to the woody (trees) and nonwoody components but, in some cases, many components may be woody, like in plantations where trees and perennial crops (e.g. shade trees on coffee) are grown in association, in multipurpose woodlots or in certain homegardens.

The main types of components arrangements possible are described in the categories that follow. The two characteristics are mutually exclusive in each category:

(1) mixed/zonal arrangement

(1.1) mixed: the different components are not geometrically arranged, but appear in an irregular manner. Some examples are: scattered trees dispersed on crop land, homegardens, or aquaculture in mangrove areas.

(1.2) zonal: the different components are geometrically arranged; for example, rows of trees and alleys of seasonal crops, windbreaks, hedgerows, rows of trees on terrace risers.

(2) dense/scattered arrangement

(2.1) **dense**: the components are close together throughout the plot; for example, In a forest garden, In alley cropping, or like in the example given earlier where each tree supports a climbing plant.

(2.2) scattered: the components are far from each other isolated trees in a pasture, for example, or rows of trees on rice paddy bunds.

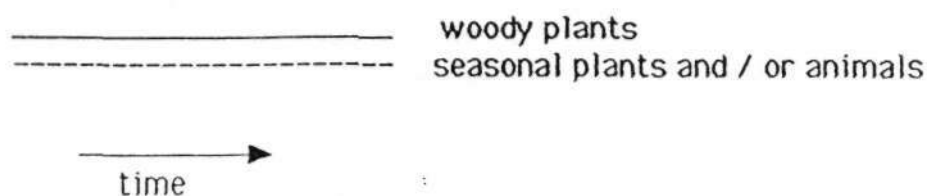
(3) single strata/multistrata arrangement

(3.1) **single strata**: there is only one tree layer, for example, alley cropping, live hedges, or windbreaks with only one species.

(3.2) **multistrata**: there are several tree layers, for example, in many homegardens or forest gardens, in multipurpose woodlots or in windbreaks with two or more species having different dimensions.

(4) simultaneous/sequential arrangement

(4.1) simultaneous: the different components are present on the same **plot** simultaneously. Examples: **trees in a pasture**, trees in association with perennial crops. This type of arrangement can also be called **coincident**. One can schematically represent **the** simultaneous arrangement in the following manner.

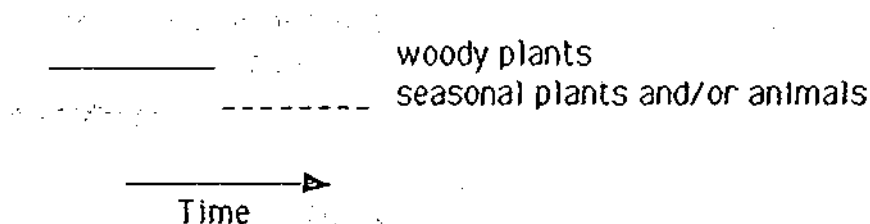


(4.1 - simultaneous arrangement)

(42) sequential: the different components are not present on the plot simultaneously, they follow each other, for example, a tree fallow alternating with classical agricultural landuse. Components can also overlap partially-in time, for example, tree planting for an improved fallow before the end of the agricultural cycle.

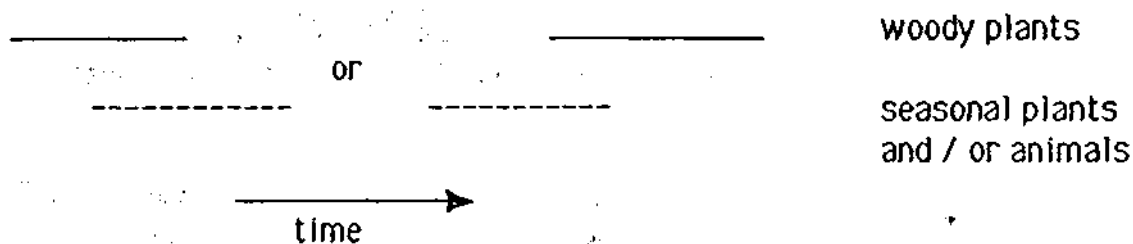
In the case of sequential arrangements, one of the following categories must be applied.

(4.2.1) separate, or **relay** arrangement: the woody and nonwoody components do not overlap in time, for example, in shifting cultivation, fallowing, and all systems on a total rotation.



(4.2.1 - separate arrangement)

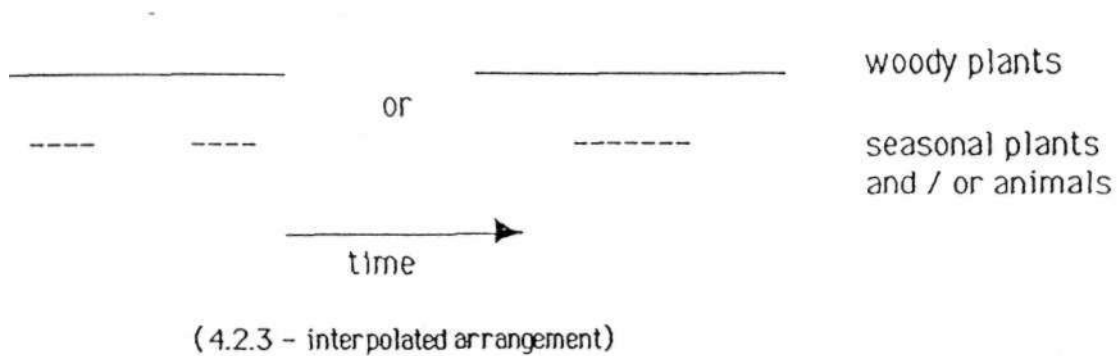
(4.2.2) overlapping arrangement: the crop cycles of the woody and nonwoody components partially overlap. Either one may be present first. Examples: multipurpose woodlot in which seasonal shade-tolerant crops are introduced, or tree plantations for improved fallow before the end of the crop's cycle.



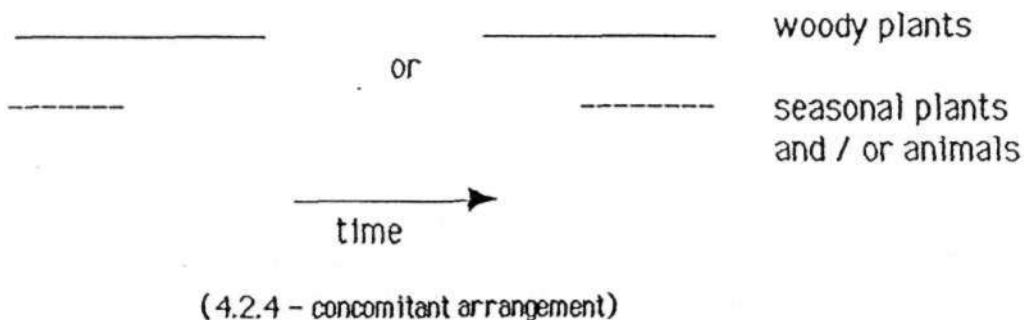
(4.2.2 - overlapping arrangement)

(4.2.3) interpolated or **intermittent** arrangement: the woody component is always present and the nonwoody component is only present during certain periods, for example, in the case of animals grazing under

trees on a seasonal basis or the irregular renewal of a part of the underwood in a home garden.



(4.2.4) concomitant arrangement: the woody component is always present and the seasonal component is only present at the beginning or end of the woody component's crop cycle. Some examples are: crops grown in association with trees until canopy closure is achieved (Taungya technology), beehives set up in an already productive orchard.



Categories (4.2.1) to (4.2.4) are not mutually exclusive. For example, one can have an arrangement that is first interpolated, then separate when the woody component is removed to leave space for the crops for several seasons.

Systems in which the seasonal component is absent only during the dead season are usually classified among the simultaneous arrangements, not the sequential ones. Hedgerow intercropping (alley cropping), for example, is a simultaneous arrangement. The arrangement becomes sequential only if the woody component is allowed to invade the entire plot for one growing season or more (rotational hedgerow intercropping, which can also be considered as a form of improved fallow).

It is possible to describe the temporal arrangement of each species with relation to each other when more than two species are combined in an agroforestry system.

10. FUNCTIONAL ANALYSIS OF AGROFORESTRY SYSTEMS.

The description of a system's function requires an in-depth study. At this stage, "observing" the system as we have done until now is no longer enough. It must be "analyzed". First, a pointer about the use of the word function: "Function" is used here with the meaning it has within the context of the systems approach, i.e. the relationship between the system's Inputs and outputs (see above: "The systems' approach). In the literature written on agroforestry, "function" sometimes has another meaning that is synonymous with "role". For example, the fact that a tree protects the soil from erosion is, in the present context, a role, or a service, but not a function in the systems analysis sense.

To analyze a system from a functional point of view, we must identify its inputs and outputs. It may be practical to subdivide the system into subsystems when doing this.

One generally distinguishes between the bio-physical and economic input and output categories. Biophysical inputs and outputs are "free" goods from the farmer's point of view, like rain, solar energy, nitrogen fixed by root nodules, shade, and erosion control. Economic inputs and outputs are those that can be bought or sold, or quantified in monetary terms, for example, land, equipment, seeds, labour, subsidies, and any and all products even those that are put back into the system like manure or mulch.

In the first example cited, (trees as supports for pepper plants and yams, and with intercropped taros), the main inputs and outputs were:

- inputs: seeds (crops), seedlings (trees), fertilizer and other chemical products, labour, land, nitrogen fixed by the trees.
- outputs: subsistence products (yams, taros) cash products (pepper), fuelwood, organic matter incorporated into the soil.

Once its Inputs and outputs are known, the system can be analysed in terms of management and productivity.

10.1 Management

The term **management** implies the methods used to turn inputs into outputs. In more simple terms, this is what farmers must do for their seedlings to become trees that provide good fuelwood, fix nitrogen, and for their seeds to become an either edible or saleable product.

To manage their land, farmers have resources. These resources are the system's inputs. The farmers' decision may influence some resources and not others. They cannot, for example, control the amount of rainfall or solar energy, but they can make sure that the plants are arranged and managed in such a way that they benefit from (or else suffer less from) the effect of these resources. They may decide to apply fertilizer on one particular crop, but to use a specific equipment only for another crop. Managing the system consists of deciding where, when, and how to use available resources.

Our farmer (still the same one!) must, for example, prune his trees once a year so that the undergrown plants may get enough light. He must harvest his pepper once a year, his taros twice a year, and his yams whenever he needs them for food. He will plough and weed his plot twice a year, but will apply fertilizer only every 2 years. The first year he will apply NPK mixture at 30-30-40, but from the next fertilization on, he will only enrich the phosphorus and potassium, because his trees will have begun to increase the soil's nitrogen content. As far as the year of setting up the plantation is concerned, other management decisions will involve preparing the land, sowing, transplanting, etc. The trees and the pepper vines, as perennials, are planted only once, but the yams and taros must be replanted before every rainy season.*

The management of a system is generally quantified in terms of input units (for example: labour, fertilizer), by units of time or space (for example: a month, a hectare). For example, our farmer uses 10 man-days per hectare, or 20 man-days per year for pruning his trees (that is the case for a 1-hectares plot, with 2 prunings per year). He must rent a team of draft animals to work his plot 20 days per year, and uses 5 litres of insecticide per year to control pests on pepper. To apply the insecticide, he uses a sprayer which he owns and is paying off over a period of 5 years. He also spends 2 days per month weeding his plot manually. Harvesting time takes such and such number of days per crop and his done with family labour, except for pepper for which the farmer has to hire labour, etc.

One generally differentiates between technical and socioeconomic management operations. Using an agricultural tool or applying fertilizer are examples of technical management decisions, whereas the allocation of labour or money are socioeconomic management ones.

10.2 Performance

A system's performance is the quantified relationship between the inputs and outputs or, the input/output ratio. It is a system's measure of

efficiency. As is the case with management, one generally distinguishes between technical and socioeconomic performance.

The biological or ecological efficiency of a system is part of its technical performance, for example, what the total biomass production per hectare is or what is the relationship between energy inputs and outputs.

For economic performance, one must take into account the market value of the inputs and outputs, including subsistence goods or inputs that are reinvested in the system. These must be quantified in monetary terms. Economic performance is expressed in output units (or their monetary equivalent) per unit of time and/or space or of another input.

Social performance is a more abstract and delicate concept to quantify, but it is an important one nevertheless. It is a matter of evaluating the system's impact on the well-being of the populations concerned. The satisfaction of households, or village communities, or the behaviour of a group of the population after adopting a new system are all facts belonging to social performance.

Let's take the first example again. We can calculate that pepper's performance is, for example, 200kg per hectare per year, which is equal to an income of US\$500 per hectare per year. Performance can also be evaluated with relation to the labour invested. For example, the pepper production corresponds to a performance of 5kg of pepper per day worked. One example of performance of non commercialized output would be that of fuelwood utilized directly, for which one could calculate, for example, a performance of 500kg (equivalent to US\$300) per hectare per year.

11. THE MAIN AGROFORESTRY TECHNOLOGIES

11.1 Criteria or classification of the technologies

The agroforestry technologies presented on the following pages have been divided into six main categories according to structural criteria of arrangement of the different components. It is, within structure, criteria of arrangement of the components (and not criteria of presence) which have been taken into account, and, to this respect, the present classification differs from Nair's (1985). These arrangement criteria have been used in a broad sense with regard to the definition of these six categories: each one represents a general type of agroforestry components arrangement. The presence and definite arrangement of the components within each type may vary.

Before entering into the details of the classification of the agroforestry technologies, an attempt will be made to summarize other existing classifications within an historical context.

The first detailed thoughts on a classification of agroforestry technologies goes probably back to Combe and Budowski (1979) and is mentioned again by Torres (1983). The general distinction, based on the presence of components, between agrosilvicultural, silvopastoral and agrosilvopastoral systems (see above: "Structural analysis of agroforestry systems") is already found in these documents.

These authors then propose a classification based on the productions and services of the woody component, e.g. wood, fruits, fodder or windbreak, shade, soil conservation. At a more detailed level, they propose to use time structure (simultaneous or sequential arrangement) and space structure (mixed or zonal arrangement). These last structural criteria are those taken into account in the present document.

Wiersum's classification (1981) still uses the three main combinations of components, and then directly relies on the space and time structure of the woody component. As such, it is nearer to the classification proposed in the present document.

Huxley (1983) suggests that a first distinction be made according to whether land rotation is practised or not, and then distinguishes between (zonal and mixed systems). Following classification criteria can then be biological, physical, environmental or socio-economic, according to the purpose of the classification. Emphasis is then made on time considerations, according to a series of possible cropping sequences, which are used, in a simplified manner, in the present document (see above: "Structural classification of agroforestry systems").

Nair (1985) uses again the basic classification in three categories according to the presence of components, and then combines structural and functional criteria for lower levels of his classification. This results in some systems being vaguely defined and others not being clearly distinct from one category to the other. However, the author indicates that structural criteria are easier to use than functional ones, because of interfering productive and protective roles when functional criteria are used.

The same author then lists a series of criteria which can be used for the classification of agroforestry systems. Ecological grouping is not satisfactory because several agroforestry systems are relevant to different agro-ecological zones. Socio-economic criteria, such as commercial or subsistence systems, are not recommended either because they may be

location-specific and subject to change with time. In summary, Nair proposes as a first step to classify agroforestry according to the presence of the components (i.e. the three above mentioned categories), and then to use any of the purpose-oriented criteria mentioned above, according to the aim of the classification, in his recent compilation of agroforestry systems in the tropics (Nair, 1989), it is, however criteria of a geographical nature which are utilized.

To finish with this review of agroforestry classifications, the list of Young (1989) can be cited. It is a concise list of about twenty agroforestry practices which are supposed to cover all possible time and space arrangements of the components (Table 1). A similar list of practices had already been proposed by Baumer and Wood (1986). These practices are more or less the equivalent of what is called "technologies" in the present document.

It is important to note that in these two last classifications, the basic criteria of presence of the components are not given emphasis. They are ignored by Baumer and Wood, and Young (see Table 1) classifies practices on mainly (but not only) structural criteria, within three main categories based on the presence of components. One of these categories is new (Tree component predominant). The agrosilvopastoral category has disappeared and is mentioned only at a lower hierarchical level. Finally, a special category is proposed for special components such as Insects and fishes.

The basic assumption upon which the classification of the following pages is based, appears in Young's and Baumer and Wood's classifications, i.e. the fact that it is not necessary to take the presence of components as the essential criteria for the classification of technologies, but that the arrangement of components is a more practical criteria.

Some of the practices mentioned by Young are, however, not Identified on structural criteria but on functional ones, e.g. biomass transfer, boundary planting or fodder banks, and there consequently can be overlapping between practices. Biomass transfer could very well be achieved by a boundary planting design, or a home garden could act as a fodder bank. It is to avoid such overlappings, that, in the following pages, agroforestry technologies are classified on strictly structural criteria, in six main categories. These categories are summarized on Table 2, with the main technologies which can be found in each category.

Table 1. Agroforestry practices* (Young, 1989)

MAINLY AGROSYLYCULTURAL (trees with crops)

Rotational:

Shifting cultivation
Improved tree fallow
Taung/a

Spatial mixed:

Trees on cropland
Plantation crop combinations
Multistorey tree gardens

Spatial Zoned:

Hedgerow intercropping (barrier hedges, alley cropping) (also egrosylvopastoral)
Boundary planting
Trees on erosion-control structures
Windbreaks and shelterbelts (also sylvopastoral)
Biomass transfer

MAINLY Or PARTLY SYLYOPASTORAL (trees with pastures and livestock)

Spatial mixed:

Trees on rangeland or pastures
Plantation crops with pastures

Spatial zoned:

Live fences
Fodder banks

TREE COMPONENT PREDOMINANT (see also Toungya)

Woodlots with multipurpose management
Reclamation forestry leading to multiple use

OTHER COMPONENTS PRESENT

Entomoforestry (trees with insects)
Aquaforestry (trees with fisheries)

* Since the publication of his book in 1969, Young (pers. comm.) has opted for "technology" to replace "practice".

Table 2. Agroforestry technologies (see sections 11.2 to 11.7)

CROPS UNDER TREE COVER

- Scattered trees in cropland
- Plantation crops combinations
- Shade trees in cropland

ANIMAL PRODUCTION UNDER TREE COVER

- Grazing under forest or scattered trees
- Pasture production under forest or scattered trees
- Animal production in woodland

AGROFORESTS

- Tree homegardens
- Village forest gardens
- Woodlots and other block planting of trees on farmland

AGROFORESTRY TECHNOLOGIES IN A LINEAR ARRANGEMENT

- Windbreaks and other shelterbelts
- Boundary planting
- Live hedges
- Living fences
- Wood/ strips and tree hedges
- Soil conservation and contour hedges
- Hedgerow intercropping (= alley cropping)
- Alley farming

SEQUENTIAL AGROFORESTRY TECHNOLOGIES

- Shifting cultivation
- Improved tree fallows
- Taungya method

OTHER AGROFORESTRY TECHNOLOGIES

- Trees with fisheries (Aquaforestry)
- Trees with insects (Entomoforestry)

11.2 Crops or animal production under tree cover

1 1.2.1 Crops under tree cover

All combinations of trees and crops in which the woody component creates an upper storey covering the crops are included in this category. The tree cover can either be very open, like in some wooded savannas, or almost closed, like shade trees in some coffee or cocoa plantations. The crops may be seasonal, as is the case with cereals grown under *Faidherbia albida* and other trees from semi-arid zones, or perennial, like cocoa trees growing under the shade of coconut palms.

Fodder plants and animals under tree cover are not included in this category. They belong to an agroforestry category that pertains specifically to animals (discussed in the following). Systems in which the woody component is multistrata are not included in this category either. They also have their own category as will be detailed later.

An important group in this category are multipurpose trees on farmlands or croplands. An example of this is scattered fruit trees planted on plots intended for food crops. Oases are yet another example. Figure 3 shows how trees can be arranged irregularly on farmlands.

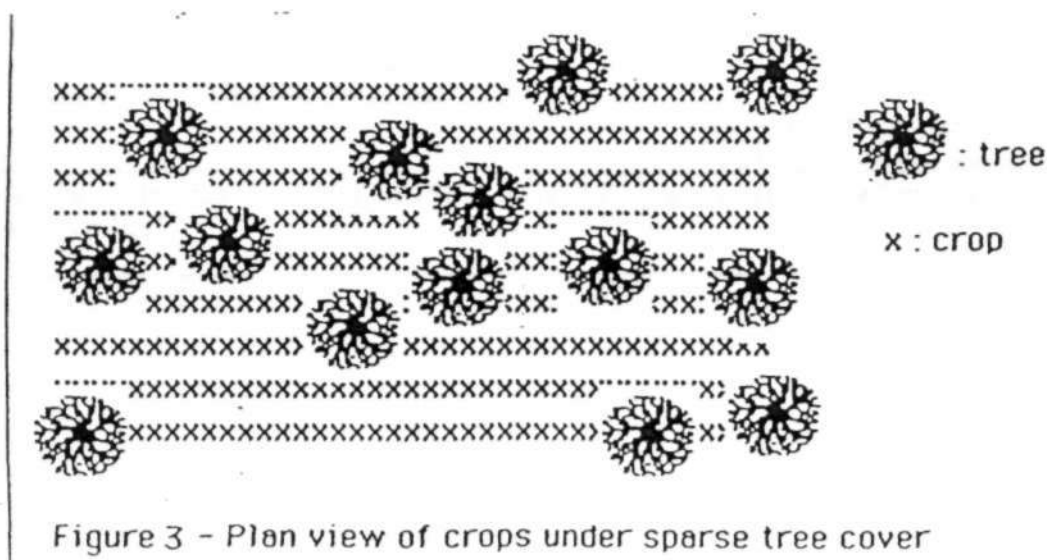


Figure 3 - Plan view of crops under sparse tree cover

Intensive commercial plantations in association with multipurpose trees (plantation crops combinations) also belong to the same category of crops under tree cover. One of the most well-known cases is that of coffee grown in the shade of *Erythrina poeppigiana* and other trees in Central America. Coffee and cocoa are also grown in the shade of *Casuarinas* in Papua New Guinea, and cocoa is often grown in coconut palm plantations. Cereals are grown under olive trees in the Mediterranean region.

Figures 4 and 5 show how cash crops can be grown in association with coconut palms. On these figures, the way the root systems exploit the different areas of the soil should be noted.

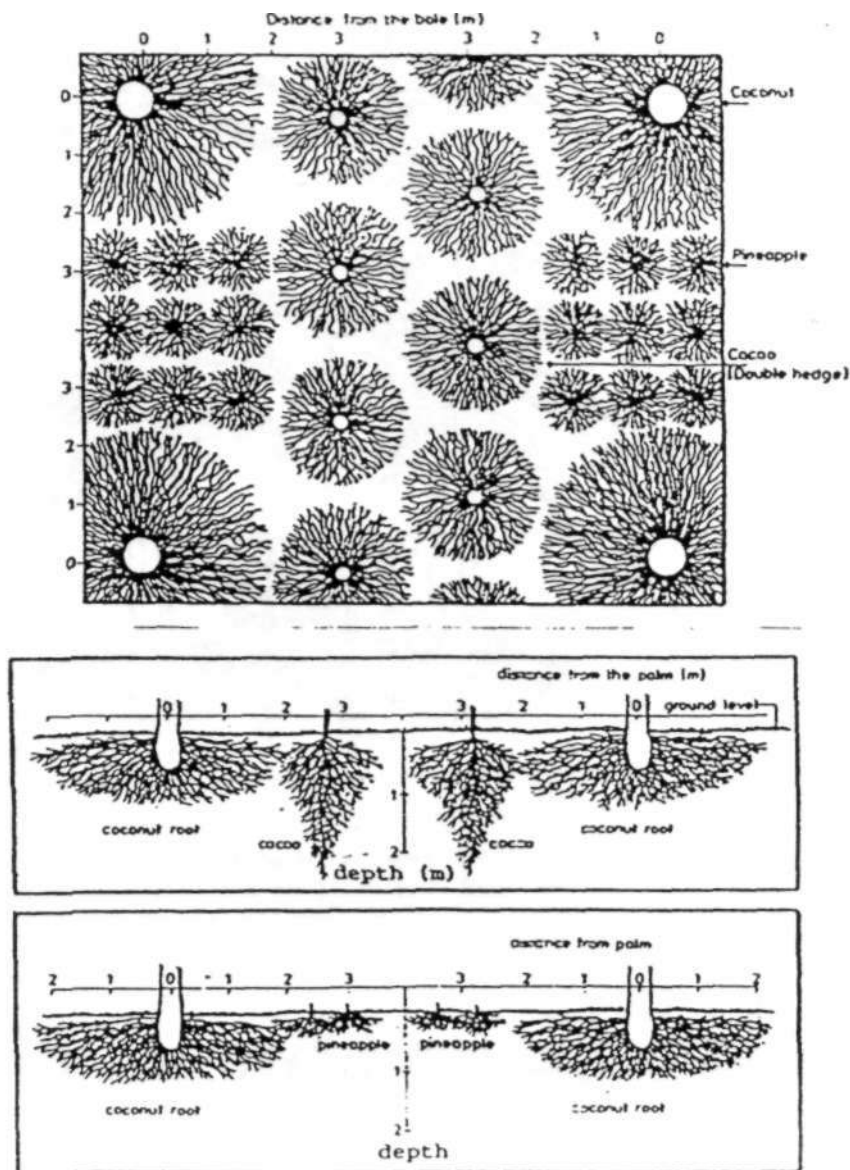


Fig. 4 Schematic presentation of the horizontal (above) and vertical (below) distribution of roots of a multistoreyed crop combination of coconut, cacao and pineapple. (Nelliat et al., 1974 (Nair, 1983)

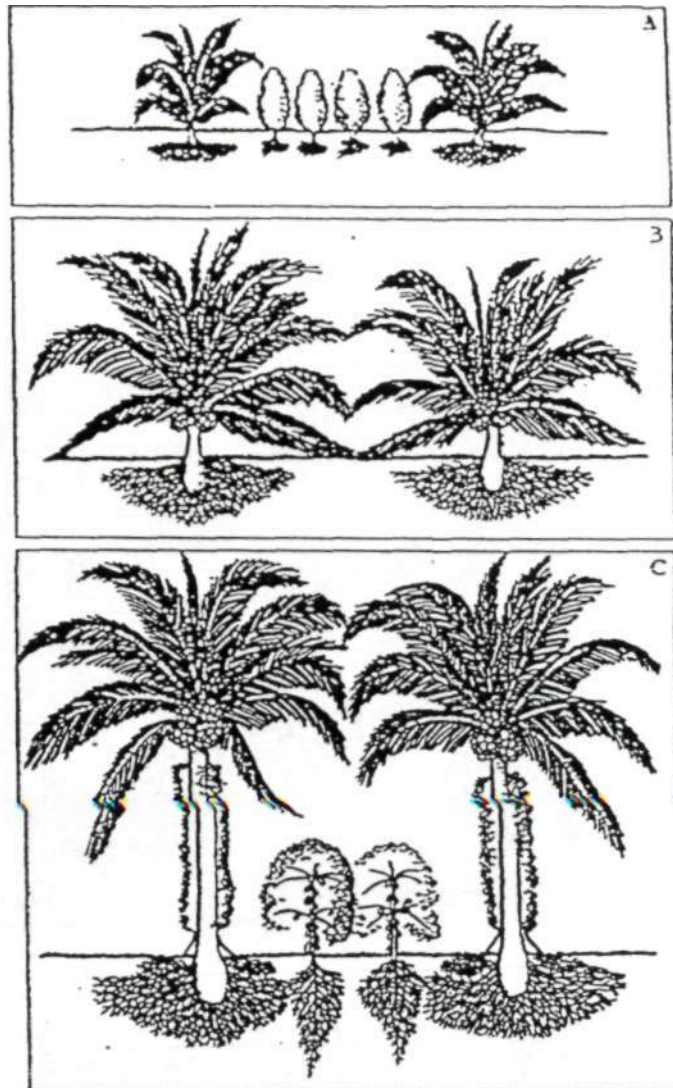


Fig. 5 Schematic presentation of the growth phases of coconut palm indicating possibilities for crop combinations.

A. Early phase, up to about 8 years: canopy develops gradually; much scope for intercropping.

B. Middle phase, about 8-25 years: greater ground coverage by canopy; little scope for intercropping.

C. Later phase, after about 25 years: increased scope for intercropping; a multistoreyed combination of coconut, cacao and black pepper is depicted. (Nair, 1983)

Structural characteristics of crops under tree cover

- Presence: -agrosilvicultural technology
- Arrangement: - mixed or zonal (the trees are either randomly planted or aligned)
- dense or scattered (the tree cover is either closed or open)
- single strata (multistrata in rare cases, for example, coffee plantations in Costa Rica growing with *Inga* and *Erythrina*)
- simultaneous

11.2.2 Animal production under tree cover

This category and the preceding one have the same structural characteristics: a tree storey covering a lower storey made up of other components, but the lower storey (and sometimes also the upper one) is, here, meant for animal production. So these two first categories belong to the same broad arrangement-based category and are differentiated on the presence of components.

Animals may simply browse in pastures deliberately planted under trees or feed off natural fodder or browse. Fodder production under tree cover can also be meant for cut and carry systems.

Different types of animals, including wild animals, are all in this category.

Although all agroforestry technologies that are clearly oriented toward animal production are grouped together here, one can also find animals in other technologies, like home gardens, for example, or certain types of shifting cultivation. In addition, many technologies may be intended for fodder production, as is often the case with woody legumes in alley cropping and with fodder banks.

It is common to find cattle, sheep, or goats grazing under tree cover. In different parts of the world, milk production under *Alnus acuminata* over is an intensive agricultural practice. In Costa Rica. In many tropical countries, livestock is left to graze under coconut palms. This is also done with Eucalyptus or Pine in the South Pacific and in high altitude tropical regions. In semi-arid zones, livestock often graze in the shade of trees, especially *Faidherbia a/b/da*, which is known for its ability to improve grass production around it. An example from the Mediterranean region is the case of "Dehesas" in Spain where an open forest dominated by oak is used for cereal crops and as a grazing area for pigs, sheep, and cattle.

Figure 6 shows how *Faidherbia aibida* and other multipurpose trees are associated with crops and animals in the highlands of Sudan. Work distribution as well as the main outputs throughout the year are decisive factors in such a system's sustainability, and should be noted.

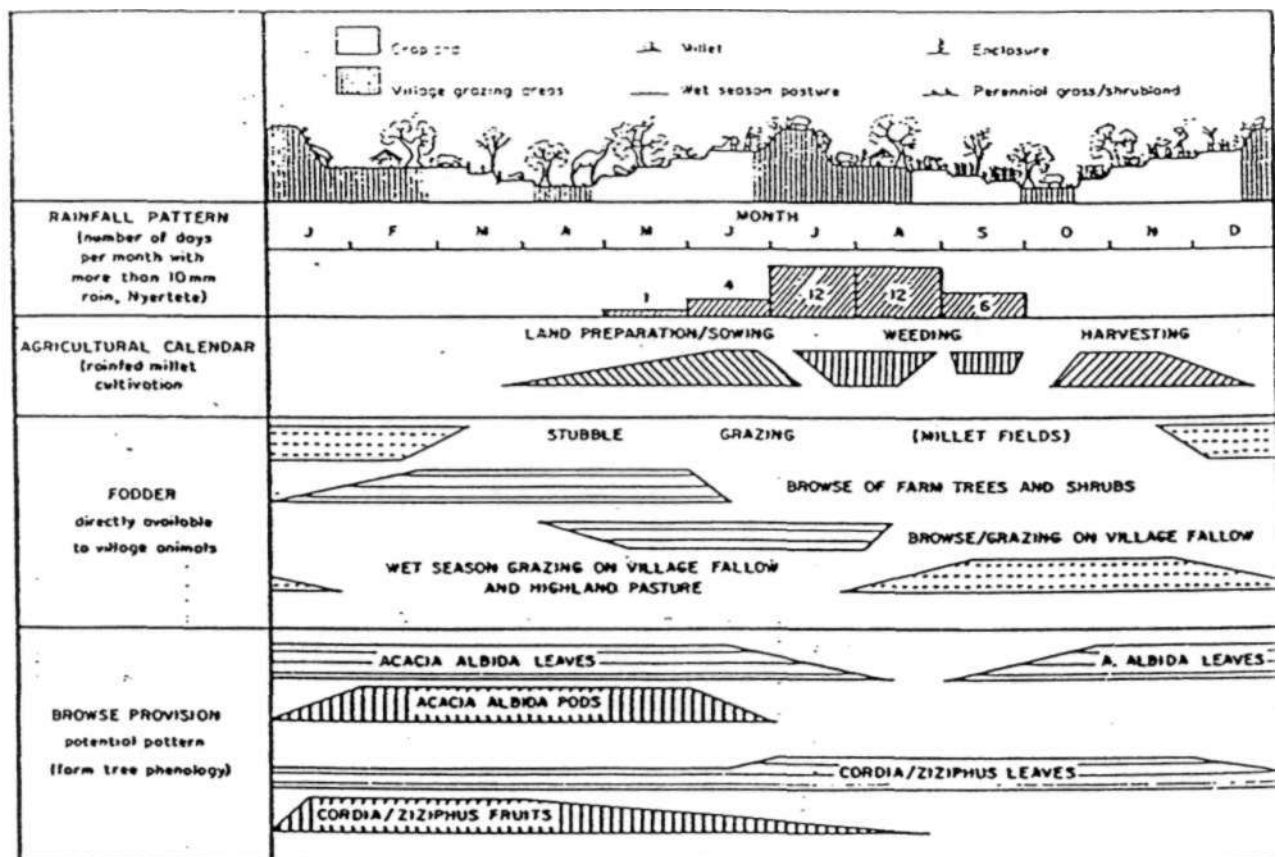


Fig. 6. Schematic presentation of the agricultural calendar and temporal interactions and essential management of the components.

(Fur, Jebel Marra, Sudan. Miede, 1986)

Structural characteristics of animal production under tree cover

- Presence: -Silvopastoral or agrosilvopastoral technology
- Arrangement: - mixed (can be zonal like in the case of animal grazing in industrial forestry plantations)
- scattered or dense: animals usually browse under a well spaced out tree cover but also, in some cases, under a closed tree canopy
 - single strata, except In the case of dense multistrata forests
 - simultaneous or sequential: the animals are either always or occasionally present under the trees. In the same system, the arrangement may be simultaneous with regard to crops or pastures and sequential with regard to animals.
 - when the arrangement is sequential, it is generally interpolated.

11.3 Agroforests

This category consists of agroforestry technologies that give rise to plant communities resembling forests and sometimes natural forests, hence the name agrof orests. Often these are only small plots, but their structure is typical of a forest because of the presence of large trees and because they are generally multistrata and **have** dark underwood. There is often great species **diversity there** in a non-zonal **arrangement of large trees** coexisting **with smaller** ones and underwood plants **which are generally** shade tolerant. Animals are also found there frequently.

Another important characteristic of these systems is not found in their structure but has more to do with the way in which they are managed. In the majority of the examples of agroforestry that we have discussed so far, the management practice is of an agricultural, intensive type. The components (trees or crops) are considered groups of plants and all receive the same treatment. The system is thus oriented toward a smaller number of products that are obtained in great quantity. This is the case with alley cropping or animals under tree cover.

In agrororests, there is no mass treatment of the components. Trees and crops are dealt with individually; each one (or each small group) is the object of different management practices, as has been specially shown by Mary (1986) for home gardens and village forests. This fact, more than their multistrata nature, is why these systems look like natural forests.

Tree homegardens, sometimes simply called homegardens, are especially well known in the humid tropics and are the clearest example of this group of technologies. They are small, carefully managed forests of useful plants, which are located close to homesteads. They are particularly well known in Asia and South-East Asia where a great variety of species of many different sizes, types, and growth cycles, as well as many domesticated animals, which are self-sufficient on the home garden products, are all present. In some countries, e.g. Indonesia, tree homegardens play an essential role in the agricultural economy, producing foodstuffs or other subsistence or commercial products and also meeting most of the requirements for sustainability (see earlier). Similar situations exist in the "Chagga" forest gardens on the slopes of Kilimanjaro in Tanzania, in the Kandy region of Sri Lanka, in Bangladesh and in the home gardens, or backyards gardens, of West Africa. There are also home gardens in different countries of tropical America. Figure 7 is a profile of a forest garden in Nigeria.

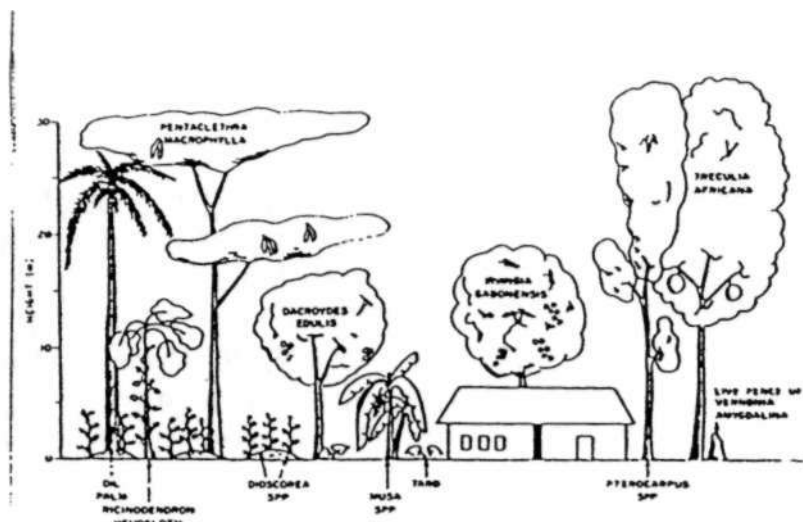


Fig. 7 Schematic presentation of vertical strata in compound farms. (Nigeria. Okafor and Fernandes, 1987)

Village forest gardens (or village forests) are another example of agroforests. Their structure is similar to that of home gardens, but they generally cover larger areas and are under communal, not family management. Village forests, because of their size and distance from homesteads, are generally oriented toward cash crops more than subsistence crops and there is less specific diversity there than in home gardens. In Sumatra, there are agroforests with Durian (a high return income-generating fruit), resin, cinnamon, or cloves. Wood is also an important product of village forests. Often the village forests are part of a cycle of shifting cultivation (see the following). Figure 8 shows the profile of a village forest in Java.

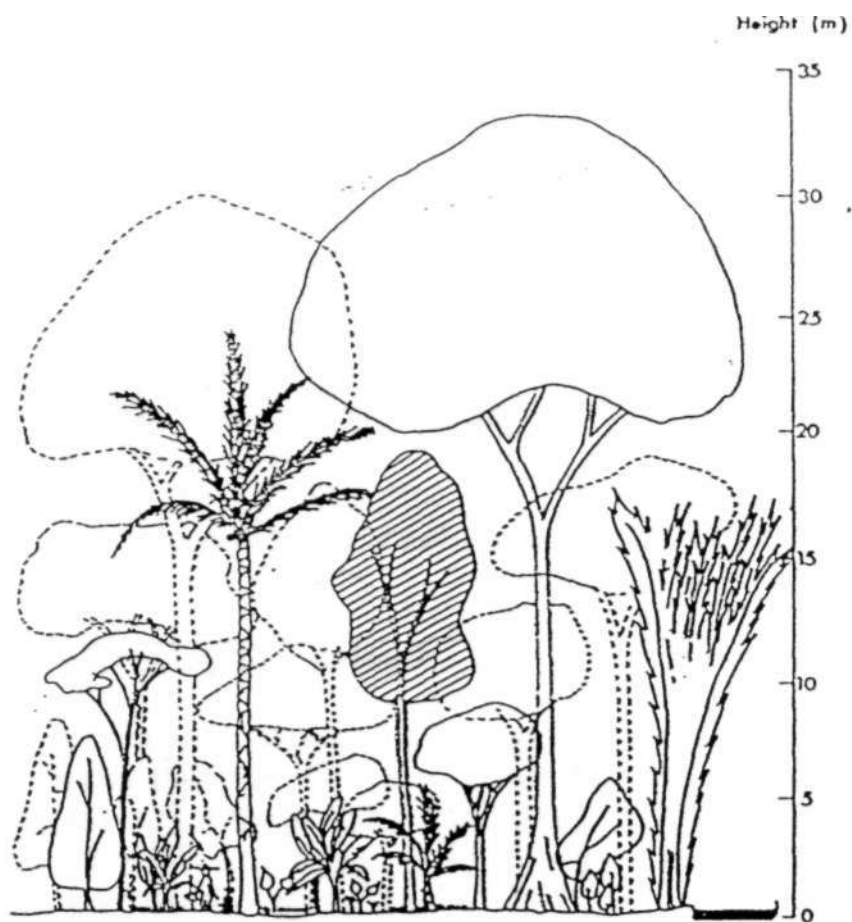


Fig. 8 - A schematic aspect of the vegetation in a village-forest-garden *sensu stricto* in West Java. Replacement trees are shaded. (Michon, 1983)

Some multipurpose woodlots, which do not necessarily include seasonal crop or animal components, may nevertheless be considered agroforests because of ecological or economic interactions with other components of the farming systems. The same can be said of certain tree hedgerows that are not directly associated with crops, but are still considered as belonging to agroforestry (see following section). The fact that these plots are multipurpose is also an agroforestry characteristic. One

will also remember (see above: "Definition") that the "default" definition of agroforestry allows to consider these technologies as part of agroforestry since they do not belong to classical forestry.

In Rwanda and Kenya, it is not unusual for farmers to keep a small part of their land for use as woodlots, and these are often essentially for fuelwood production. Other products, like fruits, may also be produced there. This kind of woodlot is sometimes considered as a specialized home garden, especially if its plurispecificity gives it a multistrata nature. It is also common to find that plots of this kind are first established by a type of Taungya system (discussed in the following) set up by the farmer on his own land, associating trees with crops for the first few years. Later, animals may be integrated into the plot. Figure 9 shows such a technology for the establishment of woodlots in Paraguay.

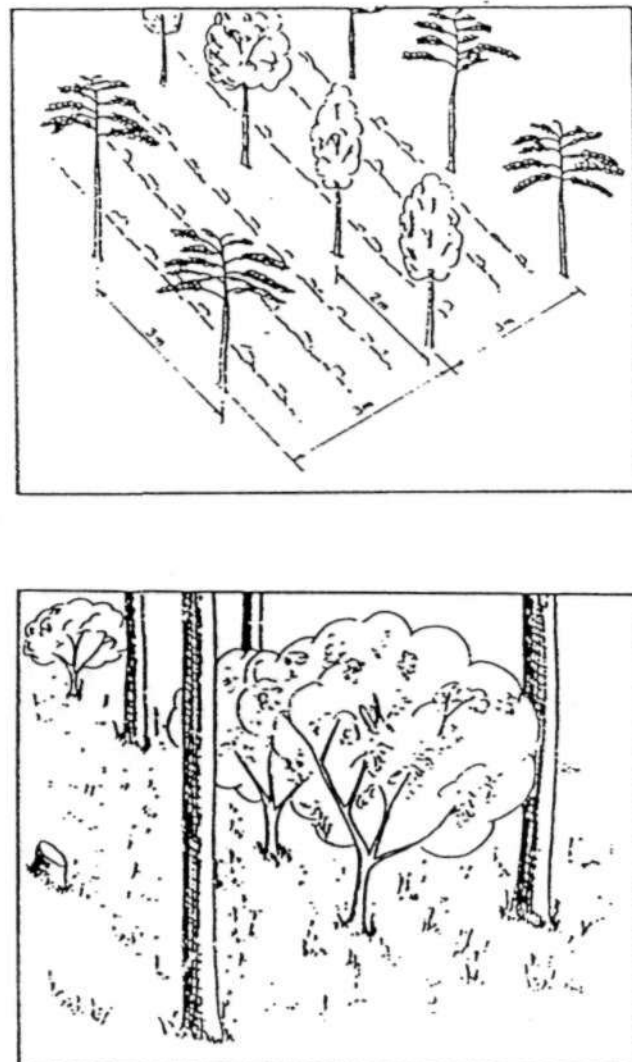


Fig. 9 - (top): Schematic presentation of planting arrangement of Paraiso (*Melia azedarach* var. 'Gigante') with *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) and Timbó (*Enterobium contortisiliquum*); year 1. (bottom) Same combination as in Figure 1 (top); year 7. (Evans & Rombold, 1985)

Some social forestry cases can be included in the agroforest category. Social forestry is a type of forestry plantation that involves the rural population's participation. If the plantation's purpose is strictly for wood production, then it is often a monospecific plantation, and not an agroforest. If, however, the social forest is multipurpose, and is made up of different species, then it may belong to the agroforest category.

Structural characteristics of agroforests

Presence: - Agrosilvicultural technology, or agrosilvopastoral technology, if there are animals, as in most home gardens.

Arrangement: - mixed

- dense

- multistrata in most cases

- most often simultaneous but sometimes sequential with regard to certain components that can only be grown occasionally, like in home gardens

- the arrangement is interpolated for those components that are not present constantly.

11.4 Agroforestry technologies in a linear arrangement

This category groups together different agroforestry technologies whose common denominator is that they appear in a line arrangement. An additional condition is that these lines must be isolated or distant from one another and do not show a series of lines like in alley cropping, which belongs to a special category (see below).

The line itself (or "strip" once it is made up of more than one row of plants) can be made up of an association of woody perennials and crops, or just woody perennials. In the latter case, to be considered agroforestry, it is, strictly speaking, necessary to have some interaction between the woody line and the seasonal crops growing close by, or with the animals that are benefiting directly from the tree's products. However, as we have seen above, such tree lines quite often are under farmers' direct management and, as such, belong to agroforestry.

The different groups of technologies in this category are:

- Windbreaks, which are used to protect crops or animals from wind. They are found in many geographical areas where they can provide protection for many different kinds of crops, including where intensive agriculture is being practiced. In addition to playing a protective role, windbreaks often produce wood. Windbreaks can have one or several tree layers. Figure 10 shows the effect of a windbreak on wind speed.

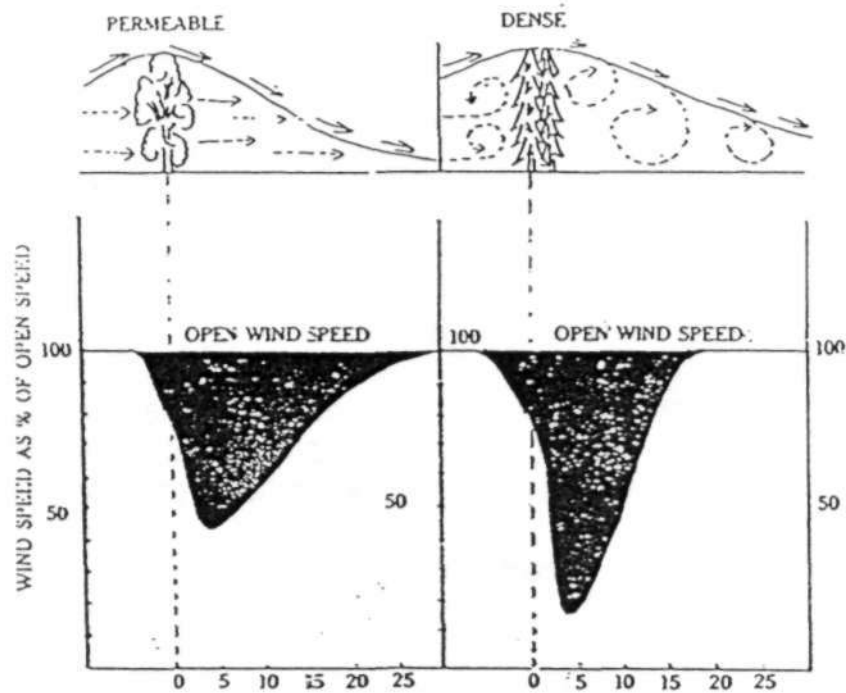


Fig. 10 - DISTANCE FROM SHELTER BELT IN TREE HEIGHTS
 • Expected pattern of wind flow behind two shelterbelts illustrating the advantage of permeable shelterbelts over dense belts. In general, the zone of minimum wind velocity occurs about five times the tree height to the leeward side for permeable belts. Some farmers may prefer dense shelterbelts if it is desirable to minimise wind speed immediately behind the shelter such as is necessary for some horticultural crops, however, for shelter to be adequate over any distance, a series of belts will be necessary. (Source: G. Bottomley and N. Parker, 1974, 'Shelter', *Tasmanian Journal of Agriculture*, May 1974, p.94).
 (in Reid and Wilson, 1985)

— Boundary planting with trees is used to delineate plots or farms. This is a common practice in many regions as well as a very simple method used to incorporate trees into agricultural landscapes. Trees can be lopped, pollarded, coppiced, or felled, depending upon the species and the type of product desired.

- Live fences (or living fences) are made up of trees that provide posts for making fences and are usually joined together by barbed wire, wire netting or planks.

- Woody strips, and tree hedges In general can be found In different places in the agricultural landscape and may play a variety of roles while providing one or more products or services.

- Live hedges serve as barriers and are defined as lines of shrubs or bushes forming a continuous barrier, which are cut regularly so that they form a mass of interwoven leaves and branches. They are typically used for animal paddocks.

Soil stabilization (for terrace formation, for example) and erosion control, as in the case of soil conservation hedges or contour hedges, are among some of the many roles that tree hedges can play. In some cases, tree hedges may be planted to provide feed for animals (protein banks). Figure 11 shows natural terrace formations with tree hedges on contour lines.

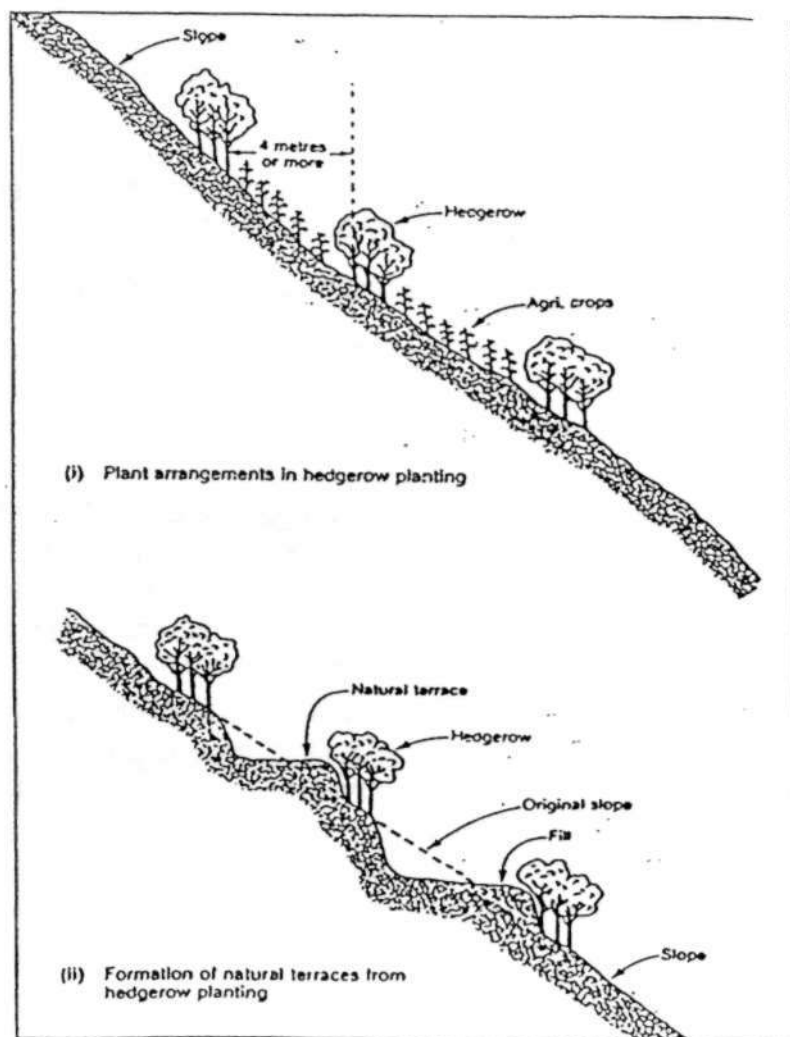


Fig. 11. Hedgerow planting for soil conservation (Nair, 1984)

- shelterbelt is a general term that describes any tree hedge that plays a protective role in the rural landscape. This role is most often combined with various classic aspects of tree production. Protecting crops against the wind has already been mentioned earlier. One might also mention soil moisture conservation and improving irrigation, protecting homes, wild animals, or other ecological assets, as well as beautifying the landscape.

Structural characteristics of agroforestry technologies in a linear arrangement

Presence: -most often an agrosilvicultural technology but can also be silvopastoral if the product derived from the tree is fodder.

Arrangement: - zonal

- scattered (but the distance between the trees on the line may be small)

- often single strata but some windbreak hedges with different species may be multistrata

- simultaneous

11.5. Hedgerow Intercropping

Hedgerow Intercropping (or alley cropping) consists of planting rows (or hedges) of trees on plots where crops are also grown. So the crops are found in alleys, between the rows. One of the most popular examples is growing cereals between rows of nitrogen-fixing leguminous shrubs.

The concept of alley cropping has been initially designed to try to solve in a spatial manner, simultaneously to crop growing, the soil fertility decrease problem observed in shifting cultivation and traditionally resolved by fallowing practices. Although part of the land is lost to the tree hedges, it is hoped that this will be balanced by an increase of crop yield per unit area, obtained by the fertilizing effect of the mulch from the hedges and, possibly, by the anti-erosive effect of the hedges, so that a fallow can be avoided.

Hedgerow intercropping is also an agroforestry technology in a linear arrangement and hence, could have been Included in Section 11.4 It Is, however, presented *here* In a separate category because the research milieu currently attaches a great deal of importance to this technology, which seems to have a promising future. In addition to playing a major role in soil fertility maintenance or improvment and erosion control, it can be easily integrated into existing farming systems (see Kang and Wilson, 1987).

Figure 12 is a diagrammatic representation of an alley cropping plot, viewed from above.

Figure 13 shows a side view of the alley and its two hedges on a slope. Certain interactions between trees and crops, as well as some of the trees' service roles, are Indicated. In the case of alley cropping plots located on slope, it is recommended that the hedges follow the contour lines.

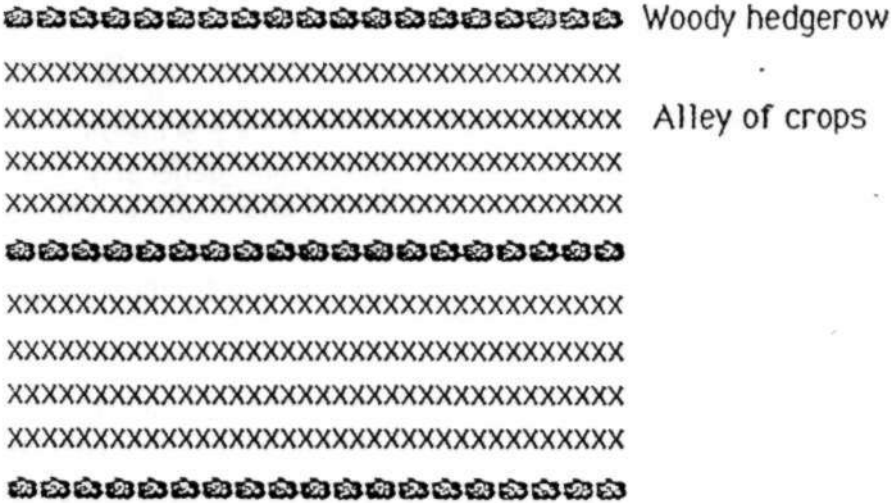


Figure 12 - Plan view of hedgerow intercropping

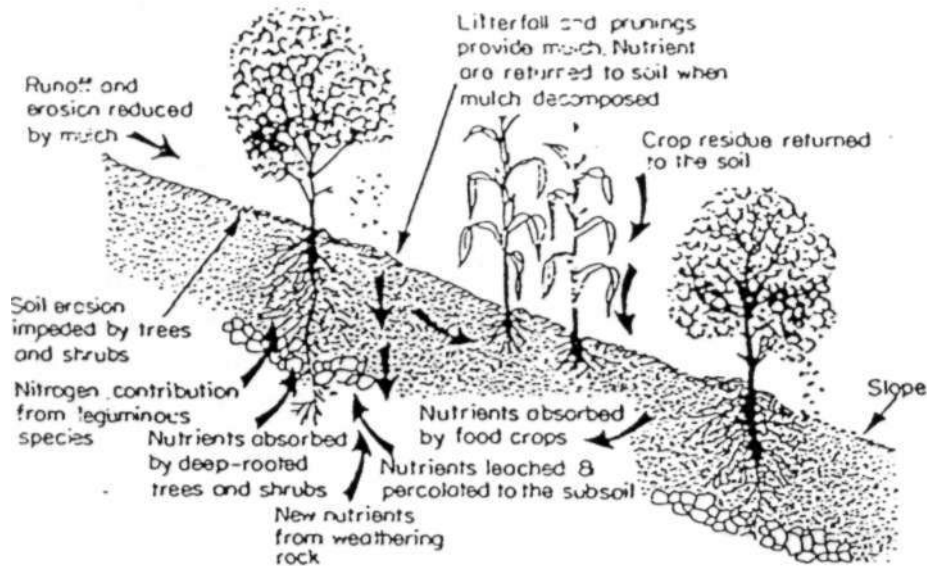


Figure 13 A schematic representation to show the benefits of nutrient cycling and erosion control in an alley-cropping system (Kang and Wilson, 1987)

The distance between the hedges may vary according to the region and the species utilized. In the case of maize, one generally finds 3-5 rows of maize between 2 rows of trees. The height and width of the hedges also vary depending upon the pruning practices used on the trees during the crop's growing season, so that the latter may have more exposure to light.

Strictly speaking, alley cropping is not only defined on structural characteristics, but on functional criteria as well, i.e. the biomass harvested from the hedges should be used for soil fertility improvement in the alleys. There are many cases where this is not the case and the hedges are pruned for other uses, such as wood or fodder. It is not, then, alley cropping *sensu stricto*, although it is often so called. If the tree prunings are meant for animal feeding, or if animals graze in the alleys, it should be called "alley farming". If the shrub hedges are meant for firewood or another production, but not as mulching material, it is better called "woody hedges in cropland". If lines or strips of tall trees are grown in cropland for pole production, i.e. trees which develop well above the crops, it rather belongs to the category "crops under tree cover".

Rotational hedgerow Intercropping is a particular case in which, after a few seasons of normal alley cropping cultivation, the trees' canopies

are left to cover the plot completely, thus making it a kind of improved fallow. After a while, the trees are pruned back to normal hedge size to make room once again for crops in the alleys. This type of arrangement is shown on Figure 14. It is supposed to combine the spatial and temporal effects of soil amelioration by trees.

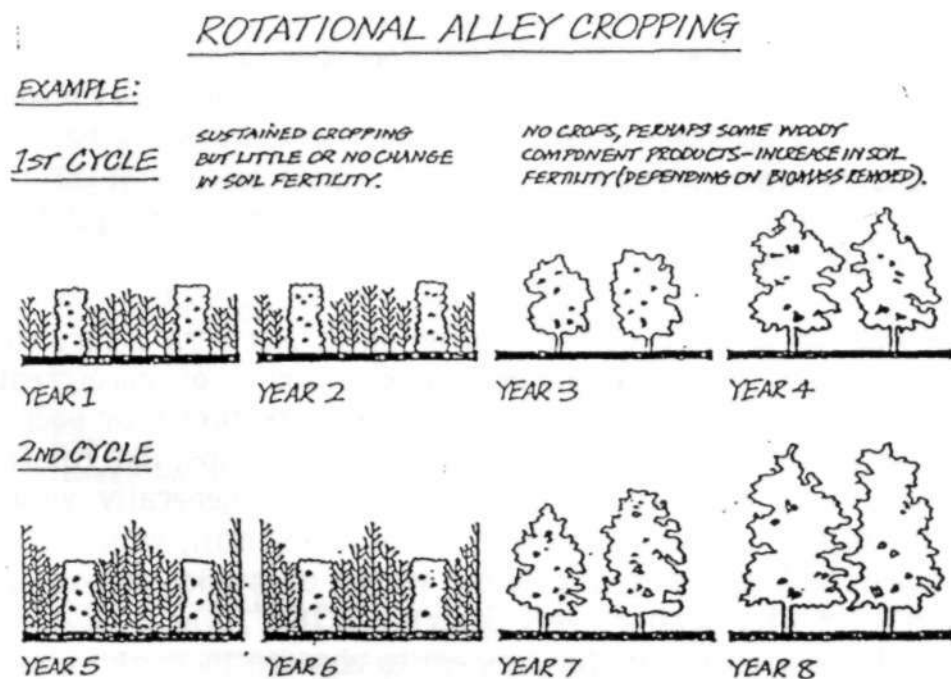


Fig. 14. Diagrammatic representation of a "rotation alley-cropping" scheme showing two cycles.

(Huxley, 1986)

Structural characteristics of hedgerow Intercropping

Presence: -agrosilvicultural technology, which can be agrosilvopastoral in the case of alley farming where animals graze on the plot.

Arrangement: - zonal
- dense

- single strata
- simultaneous, but becoming simultaneous / interpolated in the case of rotational hedgerow intercropping.

11.6 Sequential agroforestry technologies

This category groups together agroforestry technologies in which certain temporal phases consist solely of trees. Other phases are made up of other agroforestry components (crops, animals) or an association between the trees and the other components. It may be a matter of strict rotations in which the components succeed each other or an arrangement where the components overlap at times.

Shifting, or swidden cultivation, or slash and burn agriculture, as practiced in many tropical countries, is an example of agroforestry in rotation. This technology is practiced in forested countries by people who slash and burn natural forest areas to plant seasonal crops, like rainfed rice in Southeast Asia. The first cropping seasons are generally very good, because the plants benefit from the residual forest soil, which is rich in nutrients. This soil is, however, a serious victim of erosion as soon as it is bare, and its fertility declines very quickly, so that after 3 or 4 cropping seasons, it is more profitable for farmers to abandon their plots, move on, and clear another, thus the name shifting cultivation.

In the abandoned plot, which lies fallow, the forest regenerates. This regeneration goes through a stage during which it is a "secondary" forest. It is less dense and diversified than the original primary forest. In humid tropical forest areas, it is only after several decades, even centuries, that the primary forest will have regenerated.

When the population pressure is low, shifting cultivation is in balance with the natural environment. When the population density is high, the areas to be cleared become rare or else they are far away and a reduction in the rotation time may be observed. Plots where the forest has only partially regenerated are then cleared again. Soil fertility is not re-established on these plots and after several rotations, too long a period of cultivation, or because too many plots are in this state simultaneously in the same area, the forest will regenerate less and less, and may become a savanna. The same phenomenon may be observed when farmers practicing shifting cultivation crop land in logging areas and thus gain access to many partially cleared plots, and to already impoverished and poorly managed soils.

Figure 15 shows what happens once the population pressure intensifies in a shifting cultivation area. In the first case, the vegetation has time to regenerate before an area is replanted with crops for the second time. In the second case, the vegetation does not regenerate and the front of the area being used for shifting cultivation advances toward the primary forest, while an impoverished area, where cultivation is no longer possible, is left behind.

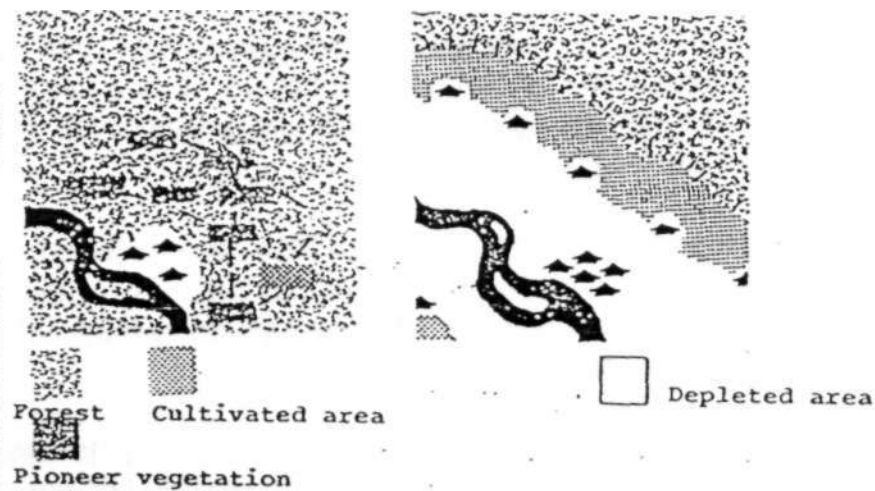


Fig. 15. Shifting cultivation and population pressure. Left: mosaic of cultivated fields, regenerating forest and virgin forest under a normal rotational system. Right: under high population pressure, the number of cultivated fields increases and the forest is not given sufficient time to recover between two successive cultivations. The shifting cultivation zone hence moves toward the forest, leaving behind a depleted area. (After Rijkssen, 1978, in Jacobs, 1988, modified) -

Whether shifting cultivation is or is not agroforestry may be discussed. In fact, trees recolonize the abandoned plot spontaneously, and there is no **deliberate** action taken by the farmer to lead to this. The interaction between trees and crops is clear, nevertheless, because crops can be planted on soil that has been restored by the tree fallow. Some authors do not consider shifting cultivation to be agroforestry unless the farmer takes deliberate action to introduce or favour certain trees in the fallow, as described in the following, or if certain trees are voluntarily left on the plot at the time of clearing it.

One way to improve shifting cultivation is improved fallow. In this case, instead of abandoning the plot after a few cropping seasons, useful woody perennials are planted there. One can, for example, sow the fallow with nitrogen-fixing trees that will re-establish good quality soil faster than spontaneous species. Trees may also be planted for different products, thus making the fallow period into a phase that not only re-establishes the soil's fertility but is also profitable. In Sumatra, for example, some people plant trees as a source of food, as well as rubber trees, in their fallow fields.

In Borneo, some people plant rattan canes in rice fields during the last rice season. Rattan, a very aggressive vine, will use the trees germinating spontaneously in the fallow as supports. It is a very profitable cash crop and can be harvested after 8-10 years. Improved fallow can sometimes be used also for livestock.

Improved fallow can also be integrated into an agroforestry plantation cycle. Some agroforests in Sumatra started out as planted fallow following a few cropping seasons. They are cut after a certain number of years to leave room for crops or another agroforestry.

Another interesting case of sequential agroforestry is the Taungya technology. This type of agroforestry originated in Burma, but has also been used in many other countries. In this technology, the forest service proposes to farmers to utilize forest plots for growing seasonal crops in association with trees during the first years of a plantation's existence. The farmer commits himself to maintaining the young trees in exchange for land which he can use as he likes. Once the trees are big enough to cover the crops, the forest service repossesses the plot. The Taungya technology had its moment of glory decades ago in several countries, but mainly in Southeast Asia for teak plantations. There are still some people who advocate this practice, but it seems to be less popular. One criticism is that it puts the farmer in a paradoxical situation: the better he maintains the trees, the earlier they will cover the crops, and the earlier he will have to hand over the land back to the foresters.

A structural equivalent to the Taungya method, but outside the administrative forestry framework, may be practiced by any farmer who wants to establish a woodlot. During the early stages of the trees' development, before canopy closure is achieved, shading the other plants, it is always possible to intersperse seasonal crops between the trees. In Embu, Kenya, for example, it is not unusual to see plots of coffee being established, where young coffee plants are grown in association with sweet potatoes and cassava.

Structural characteristics of sequential agroforestry technologies

Presence: -agrosilvicultural technology, or agrosilvopastoral once there is livestock in the fallow.

Arrangement: -most fallows are mixed, but some improved fallow as well as the Taungya technology may be zonal

- dense

- multistrata, but certain simple fallows, or Taungya technology may be single strata

- sequential: separate or overlapping, concomitant In the case of Taungya technology.

11.7 Other technologies

This last category consists of different technologies whose structures are different but are grouped together either because they are less important in the world of agroforestry or because of their very specific characteristics.

11.7.1 Aquaforestry

Aquaforestry refers to the rearing of aquatic animals in association with trees.

Fish, shrimp, or oyster breeding in association with woody perennials is done in mangroves in certain parts of Southeast Asia. This is a typical agroforestry association, because the animals are species that are strictly adapted to mangroves and, therefore, depend on trees for their survival. The "aquaforester" must hence maintain his breeding area for both fishes (or other animals) and trees.

Fish ponds, or fish basins, are known in different agroforestry contexts and may be considered one of the components of the system. They are frequently present, for example, in the home gardens of Southeast Asia, where they are part of the biomass cycle, just the same as the other animals.

Examples of fish ponds are known in a great many farming systems. Once the fish feeds on tree biomass, the system becomes an agroforestry

one, as would be the case with any other type of animal. In Siaya, in Western Kenya, fish bred in a basin feed partially on fodder from *Leucaena* used in alley cropping.

Structural characteristics of aquaforestry

Presence: -Technologies used are generally silvopastoral unless a herbaceous component is also grown with trees as fish fodder, in which case the system becomes agrosilvopastoral; the term agrosilvofishery is also used.

Arrangement: - mixed

- scattered

- single strata, except in the case of certain well-developed mangroves, which can be multistrata

- simultaneous

11.7.2 Entomoforestry

Entomoforestry refers to insect rearing in association with trees. Two well known cases are apiculture (beekeeping) and sericulture (silk worms rearing).

Apiculture is considered to be an agroforestry technology directly, once the hives are set up in the trees, or indirectly, when the bees gather nectar from tree flowers. However, bees can also feed on flowers from herbaceous plants. Apiculture is practiced in most tropical and temperate regions and can be a very profitable enterprise.

Sericulture is a very important farm enterprise in several regions of the world, specially India and China. Silk worms feed only on one tree species, the mulberry tree (*Morus alba*) so that the tree must necessarily be part of the breeding system, hence making it typical agroforestry.

Structural characteristics of entomoforestry

Presence: -as in the case of aquaforestry, where "pastoral" does not really apply, it is better not to qualify apiculture in association with trees or sericulture as silvopastoral systems. May be "silvoapiculture" is an appropriate

term. As far as sericulture is concerned, the term is well in use and can stay as such.

Arrangement: - mixed, but rows of mulberry trees are common on e.g. field boundaries or along roads.

- scattered

- single or multistrata depending upon the type of canopy from which the bees gather their nectar. Mulberry trees are usually in a single strata arrangement.

- simultaneous.

11.8 The agroforestry continuum

The nomenclature of agroforestry technologies as proposed in the above pages is but one method for establishing categories among the many possible agroforestry combinations. The proposed categories are a selection of points of reference based on structural criteria and some cases can be found which have to be located between two points of reference. Additionally, and as any classification, it has to ignore some criteria (i.e. those which are not of a structural nature) and any agroforestry technology which is not defined on structural criteria could belong to more than one of the categories proposed here. Such cases constitute an agroforestry continuum, some examples of which are given below.

Hedgerow intercropping, which is a case of an agroforestry technology in a linear arrangement, can become a sequential agroforestry technology if a rotation practice is applied to it. This is the case of rotational hedgerow intercropping, where the hedges are left to grow during some seasons and are cut back to initial size after a stage when they cover the whole cropping area, as would a fallow do.

Tree hedges on contour lines may or may not be of a repetitive nature. If they are, and if the tree biomass contributes to soil fertility management, then the hedges simply become a form of alley cropping on slope.

If a plantation crop is introduced in an agroforest, e.g. coffee in an homegarden, then the homegarden displays features which are intermediary between an agroforest and crops under tree cover. A similar situation can exist for shade-tolerant annual crops grown as the lower component of a multi-strata system.

Animal production can be linked to a number of agroforestry technologies, and the category described in the present document i.e. animal production under tree cover, is but one possible arrangement. Various animals are common in homegardens, e.g. fish, small ruminants, poultry. Animals can be part of an alley cropping situation, which is then called alley farming. One usually thinks of a fodder bank as a block planting of trees; in reality, the production role of a fodder bank can be achieved by other arrangements, e.g. tree hedges in cropland, boundary planting, some components of a homegarden or a woodlot.

Agroforests can developed through a number of other agroforestry technologies. A simple woodlot, or any block planting of trees, can become sophisticated agroforests if they are planted with several species, giving them a multilayer and multipurpose nature. Similarly, an improved tree fallow can also develop into an agroforest, or a woodlot be part of a fallowing practice.

Trees on boundaries can be arranged In several layers, two such layers being a rather common practice in some countries. One could think of multilayer boundary planting as a kind of linear agroforest!

And so on. There are probably much more cases of intermediary situations between the seven categories of agroforestry discussed in this document. It is thought, however, that these categories can be an useful reference framework within the wide range of all agroforestry options.

TEXTE FRANCAIS

Avant-propos

Les notes qui suivent sont destinées à présenter au lecteur les concepts de base de l'agroforesterie et la manière dont cette discipline nouvelle et complexe est abordée à l'ICRAF.

On a essayé de traiter le sujet de manière progressive, du général vers le particulier. Néanmoins, ceci n'a pas toujours été possible, notamment lorsqu'il s'est agi d'illustrer certains concepts par des exemples. Lorsque le cas se présente, le lecteur pourra se référer à la partie sur la description des principales technologies agroforestières, où il trouvera traités les points les plus importants sur des notions peut-être nouvelles pour lui.

Ce texte ne prétend pas à l'exhaustivité mais a pour but d'exposer les principaux fondements de l'agroforesterie et de familiariser le lecteur avec un certain jargon utilisé dans les milieux de l'agroforesterie. Il ne prétend pas non plus être définitif: l'agroforesterie est une discipline jeune et en pleine évolution et il est probable qu'un certain nombre des notions exposées ici seront revues et modifiées dans les années à venir.

Il a paru utile d'indiquer l'équivalent anglais de certains termes techniques, dans la mesure où c'est dans cette langue que se trouve la plus grande partie de la documentation disponible à l'ICRAF et donc des références citées à la fin de cet article.

Il a été fait grand usage de la littérature publiée par le personnel de l'ICRAF; certaines idées ont par ailleurs vu le jour à l'occasion de discussions informelles avec différentes personnes à l'ICRAF. Il est difficile de remercier chacun en particulier et peut-être plus simple de dire que ce travail est en partie le fruit d'une réflexion de groupe à l'ICRAF, dont les erreurs ou omissions, néanmoins, ne peuvent être imputées qu'à l'auteur lui-même.

Ce texte a été essentiellement écrit comme un document de formation, notamment la partie sur la classification des technologies agroforestières (chapitre 11). Cette classification a servi de fondement à une série de cours donnés au stage régulier de l'ICRAF "Recherche en Agroforesterie pour le Développement".

La deuxième partie de la définition de l'agroforesterie indique que, pour être bénéfique, la juxtaposition des différentes composantes doit avoir un effet favorable sur l'ensemble du système d'utilisation des terres en raison **d'interactions** écologiques et économiques entre les plantes ligneuses et les autres composantes. Les interactions, qu'elles soient écologiques ou économiques, peuvent être positives ou négatives. On dit que l'interaction est **complémentaire** si la présence d'une composante augmente le rendement de l'autre et **compétitive** si la présence de l'une réduit le rendement de l'autre. L'interaction est **neutre** (ou supplémentaire) si aucune des composantes n'est affectée par l'association avec l'autre. Le but de l'agroforesterie est d'identifier les interactions positives et de les maximiser et de réduire au minimum les interactions négatives.

Les principales interactions écologiques concernent le climat (lumière, température, humidité, vent), le sol (matière organique, nutriments, érosion), les ressources biotiques (végétation et animaux) et l'espace disponible pour la croissance. Ces interactions sont schématiquement résumées sur la Figure 1.

La figure 2 indique comment l'interaction positive ou négative entre arbres et cultures peut être traduite en termes économiques. L'exemple compare une monoculture avec un cas où les arbres occupent 25% de la terre cultivée et où on suppose une action directe négative de l'arbre sur les cultures (compétition racinaire et pour la lumière) sur une distance de 2 mètres. Cette zone où l'arbre agit directement sur la culture (pas toujours de manière négative) s'appelle **l'Interface arbre / culture**. Bien que l'interaction soit négative au niveau de l'interface dans la Figure 2, les arbres agissent positivement sur les cultures en maîtrisant l'érosion de la parcelle et en améliorant la fertilité du sol.

Trois cas sont considérés sur la Figure 2. Dans le premier cas, le rendement des cultures au delà de l'interface n'est pas meilleur qu'en monoculture et le rendement global de l'association agroforestière est plus faible que celui de la monoculture. Dans le deuxième cas, la présence des arbres améliore de 40% le rendement des cultures au delà de l'interface. Ceci n'est pas suffisant pour compenser la réduction de surface en cultures et l'effet négatif d'interface, et le rendement global est à nouveau plus faible avec cependant un bénéfice monétaire légèrement supérieur grâce aux productions des arbres. On voit ici apparaître l'intérêt de la diversification des productions en agroforesterie. Dans le troisième cas, la lutte contre l'érosion et l'amélioration de la fertilité du sol permettent un rendement global plus élevé des cultures et donc un bénéfice nettement augmenté.

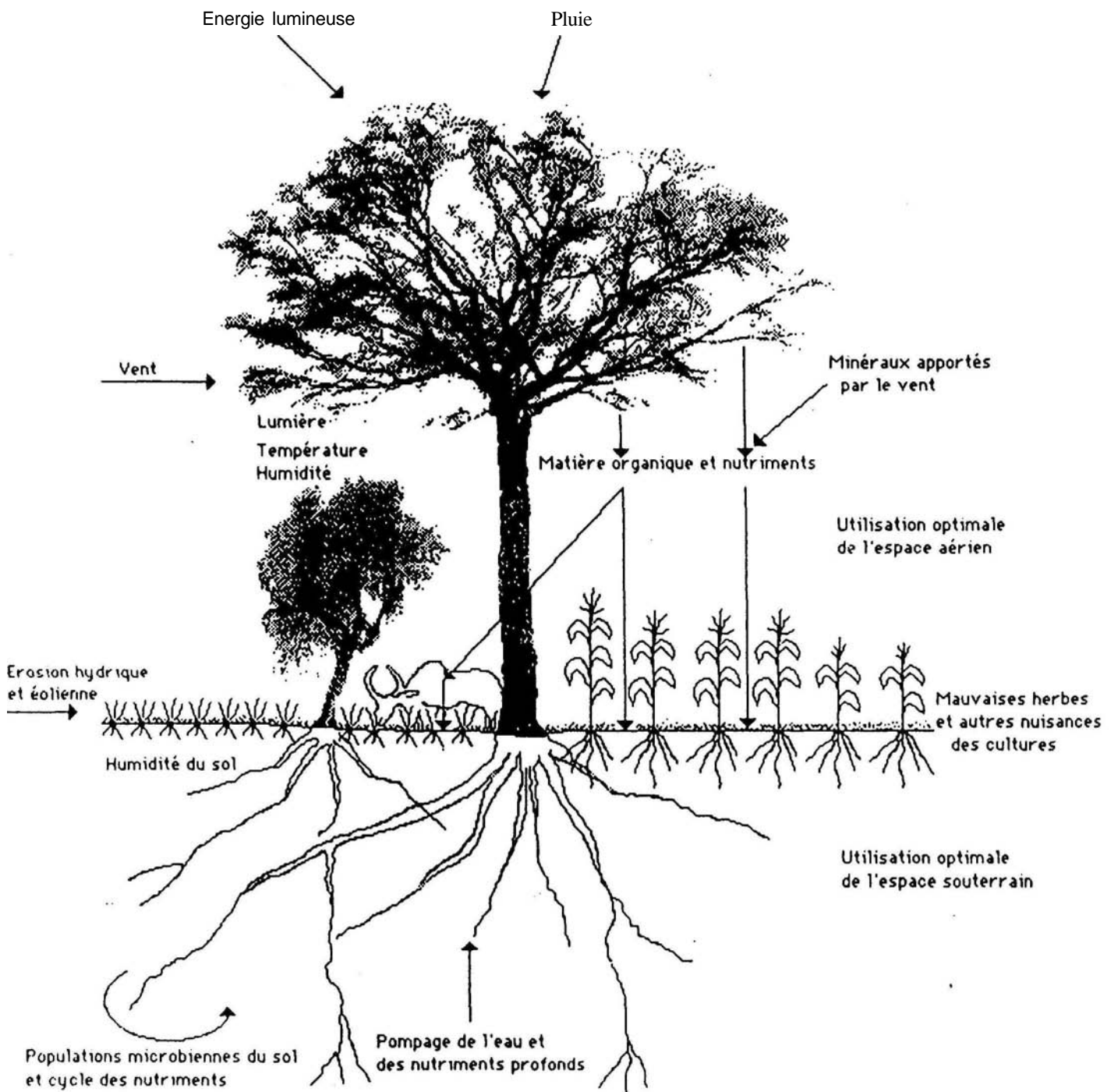
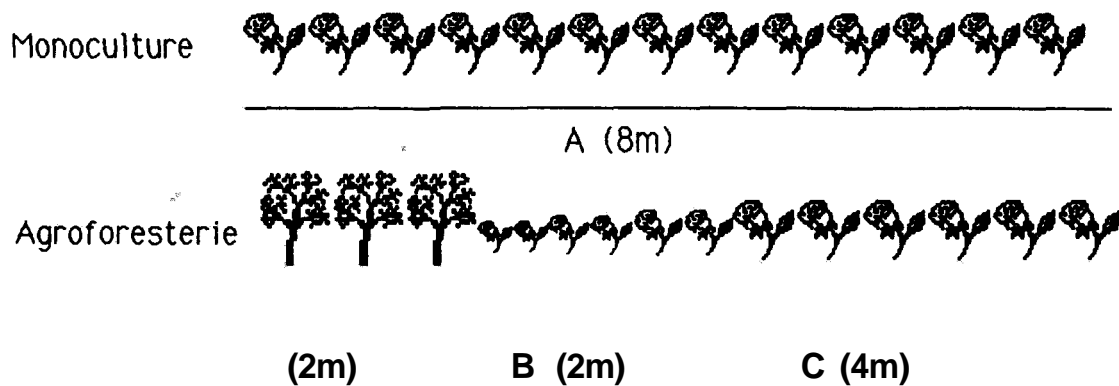


Figure 1 - Principaux domaines des interactions écologiques en agroforesterie



Rendement et production (unités arbitraires):

	1 ^{er} cas		2 ^{ème} cas		3 ^{ème} cas	
	rendement par m	production	rendement par m	production	rendement par m	production
Monoculture: Unité A	100	800	100	800	100	800
Agroforesterie: Unité B	50	100	70	140	90	180
Unité C	100	400	140	560	180	720
Total cultures		500		700		900
arbres		200		200		200

Valeur: Une unité de culture = une unité monétaire

Une unité d'arbre = 0,75 unité monétaire

Monoculture	800	800	800
Agroforesterie	650	850	1050

1 ^{er} cas	2 ^{ème} cas	3 ^{ème} cas
Perte de production	Production des cultures diminuée mais compensation économique	Augmentation de la production des cultures et de la production totale

Figure 2 - Remplacement de cultures par des arbres: rendement, production et valeur monétaire (d'après Young, 1987a).

Dans cet exemple simple, on n'a pas tenu compte du facteur temps. Dans la réalité, il est probable que l'interaction entre arbres et cultures évoluera au cours des saisons, une association à Interactions négatives ou neutres au départ devenant par la suite positive, par exemple lorsque, sous l'effet des arbres, la fertilité du sol aura été améliorée et l'érosion maîtrisée,

Les interactions entre les cultures et les animaux, quand elles existent, ne suffisent pas à définir un système agroforestier d'utilisation des terres: la présence de ligneux est indispensable pour que l'on parle d'agroforesterie. L'association de différentes cultures saisonnières (mixed cropping) n'est pas de l'agroforesterie (mais une partie des connaissances existant sur les cultures en association est certainement applicable à l'agroforesterie),

En termes techniques, l'agroforesterie est une science qui se distingue à la fois de l'agriculture et de la foresterie et qui a pour objectif l'optimisation des interactions positives entre composantes ligneuses et non-ligneuses, de manière à assurer une production de la terre plus durable et diversifiée qu'il serait possible avec une approche conventionnelle, dans des conditions agro-écologiques et socio-économiques données (Lundgren, 1987),

En termes plus prosaïques, l'agroforesterie est, dans beaucoup de cas, l'art de mettre des arbres dans les champs. On parle aussi parfois de foresterie paysanne, mais cette expression peut prêter à confusion dans la mesure où la foresterie paysanne correspond parfois à des opérations de foresterie classique effectuées par des paysans. Il en est de même pour la foresterie dite sociale. On peut aussi donner une image de ce qu'est l'agroforesterie au moyen d'une définition "par défaut": toute plantation d'arbres qui n'est pas de la foresterie ou de l'arboriculture au sens classique des termes, est de l'agroforesterie. C'est cette dernière manière de voir qui permet d'inclure dans l'agroforesterie des choses telles que les parcelles boisées villageoises ou les plantations d'arbres en bordure de routes, bien que les composantes non-ligneuses et les interactions entre composantes n'y soient pas toujours présentes. On pourrait même aller plus loin et dire qu'il y a agroforesterie dès qu'on a à faire à des arbres gérés par des paysans.

L'ICRAF a pris en compte ce large point de vue sur l'agroforesterie et a récemment reconnu (ICRAF, 1990) que la définition de l'agroforesterie telle qu'elle apparaît au début du présent document a été élaborée comme une définition scientifique mais que dans le cadre d'activités de développement, il n'y a pas de raison de séparer l'agroforesterie de l'horticulture, de la foresterie paysanne ou d'autres utilisations des terres mettant des arbres en jeu.

Le terme "agroforesterie" lui-même a été l'objet de débats (voir Stewart, 1981). Cela vient en partie du fait que la majorité des technologies agroforestières ne s'apparentent pas à des formations végétales de type "forêt", ou, si c'est le cas, ne sont pas gérées comme des forêts (au sens de forêts de plantation; voir, par exemple, les jardins-forêts), mais s'apparentent plutôt à des paysages de type agricole. Un terme du type "agro-arboriculture" eût peut-être été meilleur. Néanmoins, le terme agroforesterie étant passé dans l'usage courant, il est maintenant hors de question d'en changer.

Le mélange d'arbres, de cultures et/ou d'animaux peut prendre un grand nombre de formes, depuis l'alternance de rangées de cultures et d'arbres taillés en haies jusqu'aux animaux en pâture sous des arbres, en passant par l'élevage de poissons dans les mangroves, l'apiculture dans les arbres, les jachères arborées, les brise-vent, les haies vives, les jardins de cases et autres jardins-forêts, etc. On peut néanmoins classer les différentes associations en six grandes catégories structurales simples (voir plus loin: Les principales technologies agroforestières).

L'agroforesterie est destinée essentiellement aux petits paysans qui vivent en partie au moins d'une agriculture de subsistance, mais il existe aussi des pratiques agroforestières destinées aux systèmes intensifs d'utilisation des terres dans de grandes exploitations.

2. ARBRES A USAGES MULTIPLES

L'arbre, tel qu'on le conçoit en agroforesterie, est un **arbre à usages multiples** (souvent abrégé MPT5 en anglais, pour "multipurpose trees and shrubs"). Par "usages multiples", on entend que l'arbre joue plusieurs rôles dans le système de production. L'un de ces rôles est d'être lui-même un facteur de la production, par exemple la production de bois, de fruits, de fourrage, de paillis, de mulch ou de substances médicamenteuses,

Un autre groupe de rôles est celui de "service" rendu par l'arbre, par exemple l'ombrage pour des plantes sensibles à la lumière, la lutte contre l'érosion et l'amélioration de l'infiltration de l'eau au moyen d'un système racinaire profond, la fixation de l'azote atmosphérique qui enrichit le sol, la délimitation des parcelles par les haies vives, l'abri du vent, le contrôle des mauvaises herbes, sans oublier l'important rôle socio-culturel joué par l'arbre dans de nombreuses civilisations.

Si l'on admet que tout arbre produit nécessairement du bois, de l'ombrage, et fixe le sol par son système racinaire, on en conclut que tous

les arbres sont virtuellement des arbres à usages multiples. On a néanmoins l'habitude de considérer à usages multiples les arbres qui sont **intentionnellement** plantés, protégés ou gérés pour plus d'un usage, que ce soit de production ou de service (d'après Huxley et von Carlowitz, in Huxley, 1984).

Dans le groupe des arbres à usages multiples, le sous-groupe des arbres fixateurs d'azote, mérite d'être signalé. Ces arbres ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique au moyen de micro-organismes symbiotiques présents dans des nodules racinaires (et parfois caulinaires) et ainsi d'enrichir le sol au moyen de la litière riche en azote qu'ils accumulent sur le sol et de la décomposition des nodules et des racines. Cet apport d'azote peut avoir un effet bénéfique sur les cultures associées à ces arbres. Si l'on ajoute que beaucoup de ces arbres (dont la majorité appartient à la famille des Légumineuses) ont une croissance rapide et que certains produisent du fourrage, on comprendra pourquoi l'agroforesterie leur réserve une place de choix.

Le plus célèbre de ces arbres est *Leucaena leucocephala* (Lég. Mimosaceae), un arbre dont la vitesse de croissance est impressionnante (jusqu'à trois à quatre mètres par an, Brewbaker, 1987), fixateur d'azote, et susceptible d'être utilisé pour la production de bois de feu, de fourrage, de perches et de gaules, de pâte à papier, en haies régulièrement rabattues, etc. Il serait néanmoins dangereux d'en faire la panacée universelle de l'agroforesterie: il existe plusieurs milliers d'espèces d'arbres à usages multiples potentiels et plusieurs centaines dont les usages et la gestion sont assez bien documentés (Von Carlowitz, 1985,1986).

3. LES ATOUTS MAJEURS DE L' AGROFORESTERIE

L'agroforesterie combine les rôles de production et de service.

Les principales productions des arbres à usages multiples sont le bois de feu (y compris le charbon de bois), le fourrage et la nourriture. Parmi les autres productions, moins fréquentes, on trouve les substances médicamenteuses, les gommes et les résines, les tannins, les huiles essentielles, les fibres et les cires (Von Carlowitz, 1986).

Les principaux rôles de service de l'agroforesterie sont:

- La conservation du sol, que ce soit la lutte contre l'érosion (présence d'un couvert permanent sur le sol, lutte contre le ruissellement), le maintien de la fertilité (incorporation de matières organiques dans le sol; "pompage" des nutriments des couches profondes du sol par les racines des arbres, ces nutriments profitant ensuite aux cultures par l'intermédiaire de

la litière ou du mulch) ou le maintien des propriétés physiques du sol (voir Young, 1989).

- La création d'un microclimat qui peut être bénéfique à certaines plantes ou animaux, par exemple les modifications de lumière, température, humidité ou vent et qui peut aider à la lutte contre les mauvaises herbes.

- Une variété de rôles sociologiques, liés aux multiples rôles traditionnels joué par l'arbre dans de nombreuses civilisations.

C'est sa capacité à combiner production et conservation des ressources naturelles qui confère à l'agroforesterie son caractère indéniable de durabilité (voir plus loin: "sustainability") (Young, 1988b).

Bien que l'agroforesterie ne soit pas a priori une solution idéale à tous les problèmes du développement rural, l'association des arbres et des autres composantes de l'agriculture confère à l'agroforesterie un certain nombre d'avantages contribuant à la solution de problèmes bien connus de trois zones agro-écologiques majeures des tropiques (Lundgren, 1987):

- les tropiques humides de basse altitude, où l'agroforesterie peut jouer un rôle dans le maintien de la fertilité des sols,

- les zones à forte pente (collines et montagnes) où l'agroforesterie peut contribuer à la lutte contre l'érosion,

- les zones semi-arides et sub-humides à pâturage extensif, où l'agroforesterie peut aider à lutter contre la désertification (voir Baumer, 1987).

Par ailleurs, la combinaison de plusieurs types de productions, qui sont à la fois de subsistance et de rapport, contribue à la satisfaction des besoins fondamentaux des petits paysans et minimise le risque d'échec total du système de production.

4. "SUSTAINABILITY"

Les atouts de l'agroforesterie décrits ci-dessus ne sont pas mutuellement exclusifs ni spécifiques pour chacune des zones citées ci-dessus et ne sont que les plus évidents, directement liés à la présence d'arbres. Ils s'inscrivent dans un concept plus global connu sous le terme anglais de "**sustainability**" ("soutenabilité" n'étant pas encore admis dans la langue française, "durabilité" peut être utilisé comme une mauvaise traduction, provisoire, de sustainability).

La **durabilité** d'un système de production rural correspond à sa capacité à répondre à des besoins humains sans cesse croissants, sans pour autant affecter, et si possible en améliorant, les ressources de base dont dépend le système (Agency for International Development, 1987).

Un système de production rural durable n'est qu'un des éléments du concept global de développement durable, qui comprend lui-même une série de conditions externes au système rural que l'on peut classer dans les domaines économiques, sociaux, écologiques, politiques et institutionnels.

Les principales exigences de l'agriculture durable sont:

- la conservation du sol, qui comprend la lutte contre l'érosion et le maintien de la fertilité.

- l'utilisation efficace et la conservation des ressources existantes (sol, eau, lumière, énergie, ressources génétiques, main-d'oeuvre),

- l'utilisation des interactions biologiques entre les composantes du système agricole (par exemple le paillage, l'association de plantes support et de plantes grimpantes, la fixation de l'azote, le contrôle biologique des mauvaises herbes et des maladies), et

- l'utilisation d'intrants facilement disponibles, et d'intrants et de pratiques qui assurent la protection de l'environnement et de la santé.

Pour être durable, l'agriculture destinée aux petits paysans, dépendant pour partie de cultures de rente et pour partie de cultures de subsistance, doit répondre à des exigences plus strictes, notamment:

- satisfaire les besoins du paysan en énergie (énergie calorifique, main d'oeuvre),

- satisfaire les besoins du paysan en revenus monétaires,

- satisfaire les besoins du paysan en produits de subsistance lui assurant une alimentation suffisante et équilibrée,

- resserrer les liens de solidarité entre les membres des communautés locales.

Ces exigences ont pour but d'aider les populations à affronter les périodes difficiles liées aux aléas climatiques ou économiques, d'améliorer les conditions de la vie rurale pendant les périodes "de soudure" entre les saisons de production et d'assurer la survie des systèmes ruraux traditionnels.

Enfin, il existe un certain nombre de paramètres nationaux et internationaux qui contribuent plus ou moins directement à la durabilité des systèmes de production ruraux; parmi ceux-ci:

- la qualité des infrastructures mises à la disposition des paysans (routes, irrigation, transports, etc.),

- l'accès au crédit dans des conditions à risques supportables par le paysan en cas d'échec,

- l'accès à un minimum d'infrastructures sociales (école, santé, planning familial),

- l'accès direct ou indirect aux marchés nationaux et internationaux, à des prix en rapport avec les coûts de production de l'agriculture.

L'agroforesterie, en incluant des arbres dans les systèmes de production agricole, parce qu'elle est fondée sur les ressources existantes, parce qu'elle met en œuvre des modes de gestion qui optimisent la production combinée de plusieurs produits plutôt que de maximiser celle d'un seul produit, et par ses nombreux rôles de service, répond à bon nombre des critères de la durabilité.

5. MULTIDISCIPLINARITÉ

Le concept de durabilité, par son aspect global, met en évidence la nature multidisciplinaire de l'agroforesterie.

Dans un système de production rural classique, axé sur une seule production (monoculture), une équipe de recherche spécialisée peut prétendre dominer l'ensemble du sujet et résoudre les problèmes qui se posent; par exemple, un spécialiste de la production animale tentera de résoudre un problème alimentaire d'un certain type de bétail, ou un forestier cherchera l'espèce adaptée à la production de bois d'œuvre dans une région donnée.

Tel n'est pas le cas en agroforesterie, où trois disciplines de base doivent nécessairement collaborer: la foresterie, l'agriculture et l'élevage. Cette collaboration a pour but d'identifier les meilleures combinaisons possibles de différentes composantes et de mettre au point un type de gestion qui concilie les exigences de ces composantes tout en assurant une production combinée optimale.

Mais la multidisciplinarité en agroforesterie va beaucoup plus loin: les meilleurs rendements, même combinés, ne peuvent se justifier que dans le cadre de la durabilité (voir plus haut), et n'auront d'effets que lorsque les technologies correspondantes auront été adoptées par les paysans.

Ceci implique que des écologues, des pédologues, des horticulteurs, des biologistes en général, se penchent sur les ressources existantes et étudient la meilleure manière de les exploiter tout en les conservant.

De la même manière, les sociologues, les anthropologues, les spécialistes du développement rural et les économistes doivent aborder le problème des ressources humaines et analyser les contraintes du marché et de l'agriculture de subsistance.

Le cadre Institutionnel permettant une collaboration efficace entre toutes ces disciplines n'existe généralement pas: il est courant, par exemple, que les organismes traitant d'agriculture et de foresterie s'ignorent mutuellement, sans parler de disciplines telles que la sociologie ou l'écologie, dont l'intégration avec les autres sciences rurales n'est que rarement réalisée.

C'est un des enjeux de l'agroforesterie que d'arriver à créer les conditions d'une multidisciplinarité efficace. L'une des difficultés majeures réside dans le fait que l'agroforesterie cherche avant tout à inclure des arbres dans les paysages agricoles et devrait donc dépendre des institutions de l'agriculture alors que ce sont surtout les institutions de la foresterie qui se sont occupées d'agroforesterie jusqu'à maintenant (Young, 1987). Ce qui ne veut pas dire que les institutions de la foresterie doivent être écartées de l'agroforesterie, au contraire, puisqu'il s'agit de planter et faire pousser des arbres, ce qui est du ressort normal des forestiers. Bref, forestiers et agronomes doivent travailler ensemble.

6. L'APPROCHE SYSTEMIQUE

L'approche systémique (ou "approche systèmes") est un outil de travail permettant d'aborder l'étude de la réalité d'une manière pratique. La théorie des systèmes a été appliquée à la description et l'analyse des systèmes agricoles sous le nom de **systèmes agraires**. C'est l'approche qui a été retenue par l'ICRAF pour le diagnostic des systèmes d'utilisation des terres et la formulation d'interventions agroforestières.

Ainsi que le définit la théorie des systèmes, un **système** est un ensemble d'éléments liés entre eux (Ruthenberg, 1980), ou un moyen de modélisation de la réalité ou de l'imagination. Le but d'un système est de regrouper des éléments de manière organisée et simplifiée. C'est un ensemble d'éléments inter-dépendants qui forment une unité et fonctionnent ensemble. L'outil système permet d'appréhender la réalité et de mettre en évidence ce qui est important.

Selon la spécialité dans le cadre de laquelle le système est défini, l'unité système ne sera pas la même: le biologiste parlera de système pour un organisme, un organe ou une cellule, le mathématicien pour une série d'équations, l'économiste pour une région ou une exploitation agricole et le sociologue pour une catégorie de population ou un foyer.

L'approche systèmes est souvent utilisé à des fins descriptives ou analytiques mais est également efficace pour la gestion (par exemple le suivi des facteurs qui peuvent améliorer l'efficacité d'un système) et pour

la prédiction (pour prévoir quelles seront les conséquences sur le système de la modification d'un facteur).

Dans le contexte rural, un **système agraire** peut être défini comme "une disposition unique et relativement stable d'activités agricoles mises en oeuvre par un ménage selon des pratiques bien définies correspondant à des environnements physiques, biologiques et socio-économiques, et selon les objectifs, les préférences et les ressources du ménage" (Shaner *et al*, 1982).

Les **activités agricoles** sont toutes les actions mises en oeuvre afin de produire un extrant qui contribue à la production totale ou au revenu de la famille. Le **ménage** est une entité sociale dont les membres habitent et dorment au même endroit et partagent, les repas (Shaner *étal, op cit*).

L'approche systèmes a sa terminologie et comporte un certains nombres de règles qu'il est important de suivre.

Pour tout système, les quatre caractéristiques suivantes doivent être définies:

- **Limites** Les limites d'un système sont naturelles ou artificielles et définissent clairement ce qui est endogène (interne) et ce qui est exogène (externe) au système. Le système est ainsi défini par la **présence** de certaines composantes.
- **Structure** C'est la **disposition** des composantes endogènes du système, dans l'espace et dans le temps. Elle indique comment les différentes composantes du système sont arrangées les unes par rapport aux autres. Si on ne les trouve pas toutes simultanément, elle précise quelle est leur séquence dans le temps.
- **Fonction** La fonction d'un système concerne les relations entre les intrants et les extrants. On appelle **intrants** et **extrants** tout ce qui peut entrer dans le système et en sortir. La fonction d'un système est détaillée en termes de gestion et de productivité.
On appelle **gestion** la manière de transformer les intrants en extrants et **productivité** (ou performance) la relation quantifiée entre les intrants et les extrants.
- Etat 11 indique si le système est en développement, stable ou en déclin.

C'est uniquement lorsque les trois premières de ces caractéristiques sont connues qu'un système est correctement décrit.

Les concepts de l'approche systèmes sont couramment utilisés pour l'étude des systèmes de production agricoles, sous le nom de "systèmes agraires". On peut également les appliquer à n'importe quelle partie de la réalité qui nous entoure, par exemple une ville, une salle, notre propre corps.

Le mot "système" peut avoir une autre signification: un système peut être une méthode de classification, de mesure, etc; par exemple le système numérique hexadécimal. Cette signification n'est pas utilisée dans le cadre de l'approche systèmes.

Les systèmes inter-dépendants peuvent être hiérarchisés; par exemple un système cellules vivantes spécialisées, comme celles du foie par exemple, fait partie du système "être humain", qui fait partie du système "foyer", qui fait partie d'un système communautaire, qui fait partie d'un système régional, qui fait partie de la nation, etc. On appelle **sous-système** un système inclus dans un autre système, d'ordre hiérarchique supérieur. L'analyse d'un des systèmes de la hiérarchie doit prendre en compte l'influence des systèmes d'ordre supérieur ou inférieur. Lorsque certains niveaux dans la hiérarchie des systèmes peuvent être ignorés, on les appelle "boîtes noires".

Le choix du niveau d'analyse dans la hiérarchie des systèmes est important: on peut par exemple décrire et analyser un système "être humain" à un niveau général, de telle sorte qu'il s'applique à tous les êtres humains sur la terre, ou à un niveau détaillé, de telle sorte que chaque personne soit un système différent.

7. SYSTEMES AGROFORESTIERS

Pour illustrer l'approche systèmes, nous allons l'appliquer à un cas agroforestier existant.

Imaginons que nous soyons en train d'observer un paysage et d'essayer d'y identifier les différents types d'utilisation des terres, et plus spécialement ceux d'entre eux où existe une certaine forme d'agroforesterie. En nous fondant sur la définition de l'agroforesterie (l'association délibérée de ligneux à des productions animales ou végétales), nous cherchons les zones où des arbres semblent associés à dessein à des cultures ou du bétail (ceci peut n'être pas visible au premier abord, par exemple dans le cas des rotations), et où on peut voir ou déduire certaines interactions entre les arbres et les autres composantes.

D'après la définition d'un système, nous cherchons maintenant à identifier les limites de cette zone. Par exemple, il y a du maïs en monoculture sur certaines parcelles alors qu'en d'autres endroits des arbres fixateurs d'azote sont utilisés en plantation serrée comme tuteurs de poivriers et d'ignames, et que des taros (cocoyams) sont plantés entre les rangées d'arbres (il s'agit d'un exemple théorique). Les parcelles où existe cette combinaison sont des **systèmes agroforestiers** d'utilisation des terres

Ce niveau hiérarchique peut convenir si nous désirons étudier une de ces parcelles comme un écosystème isolé. Il est néanmoins vraisemblable que nous préférons la considérer comme une unité organisée soumise aux décisions de gestion de l'agriculteur et en satisfaisant les besoins, de sorte que le système agroforestier devra également comprendre le paysan lui-même ainsi que les différents intrants utilisés, comme la main d'œuvre, les investissements de plantation, etc.

A ce stade, deux remarques doivent être faites sur l'utilisation de l'approche systèmes dans le contexte agroforestier.

(1) Nous parlons déjà d'un "système" agroforestier alors qu'il n'est défini que par la présence de certaines composantes (arbres et plantes grimpantes) et par les limites d'une parcelle. Bien que ces conditions soient nécessaires, elles ne sont pas suffisantes pour décrire un système dans le cadre de l'approche systèmes. Il est nécessaire pour cela de caractériser la structure et la fonction du système.

(2) Le terme "système" tel qu'il est utilisé dans le contexte de l'agroforesterie correspond à un type d'utilisation des terres (un type agroforestier d'utilisation des terres) et non pas, comme dans la nomenclature classique des systèmes agraires, à une production particulière. Le nom le plus probable pour le système agroforestier ci-dessus serait quelque chose du genre: "système à arbres support pour productions de subsistance et de rapport", alors que les parcelles voisines consacrées au maïs sont des "systèmes de production de maïs".

Ce sont les produits multiples et la nature complexe de l'agroforesterie qui font qu'il n'est pas possible de qualifier les systèmes agroforestiers d'après leur production (Nair, 1985). Ceci met clairement en évidence la flexibilité du concept de système.

8. TERMINOLOGIE DE L'AGROFORESTERIE

D'après la définition du système donnée plus haut et l'application du concept de système dans le cadre agroforestier, un système agroforestier peut être défini comme "un ensemble de composantes agroforestières inter-dépendantes (arbres avec cultures et/ou animaux)

représentant un type courant d'utilisation des terres dans une région donnée". Nous devons maintenant décrire le système identifié ci-dessus avec plus de détails. Une série de termes ont été utilisés pour cela dans la littérature agroforestière, et parfois de manière plus ou moins contradictoire. Les lignes qui suivent indiquent les principaux usages en cours à l'ICRAF.

8.1 Pratique

Nair (1985) voit dans le mot "**pratique**" un aspect fonctionnel et indique qu'une pratique agroforestière est "une opération de gestion de la terre de nature agroforestière". Young (1989) insiste sur l'aspect structural et propose qu'une pratique agroforestière soit "une disposition distincte de composantes [agroforestières] dans l'espace et dans le temps". Dans les deux cas, "pratique" demeure un terme assez général. La culture en couloirs, les plantations de lisière ou les jachères arborées sont des pratiques agroforestières. Dans l'exemple que nous avons évoqué plus haut, la pratique peut-être dénommée "arbres dispersés dans les champs", ou "cultures sous couvert arboré". A ce niveau de détail, le nombre de pratiques agroforestières est assez limité: Young (*op cit*) en dénombre une vingtaine (voir Tableau 1, p. 87),

8.2 Technologie

Dans la parcelle agroforestière que nous avons décrite plus haut, nous identifions les arbres selon la nomenclature botanique, puis nous observons qu'ils ont été plantés avant les plantes grimpantes, selon un écartement rectangulaire de 3x2 mètres, puis qu'ils ont été conduits et taillés de manière à offrir aux plantes grimpantes le meilleur support possible, tout en assurant un bon dosage de la lumière et de l'ombre. Les plantes grimpantes sont plantées au pied des arbres et attachées à l'arbre support. Les taros sont plantés entre les rangées d'arbres. Il est tout de suite évident que la parcelle produit du bois, des tubercules et des grains de poivre et, après une observation plus détaillée, que l'azote atmosphérique y est fixé et éventuellement, l'érosion contrôlée. Nous sommes en train de décrire une **technologie agroforestière**

Von Carlowitz (1989) insiste sur le fait qu'une technologie agroforestière est un ensemble de spécifications concernant les rôles, la disposition et la gestion d'arbres à usages multiples et des composantes qui leur sont associées, y compris les caractéristiques des arbres liées à la technologie en question (idéotype), et propose une description modulaire des technologies agroforestières dans laquelle toutes ces spécifications sont prises en compte. Ainsi, pour l'exemple qui nous intéresse, on aurait:

- arbres support dispersés dans les champs (synonyme: cultures sous couvert arboré) pour production de nourriture, bois et cultures de rente ainsi que pour la fixation de l'azote et la lutte contre l'érosion. Pour une localité donnée, la technologie devra aussi indiquer les espèces concernées.

- disposition simultanée, arbres régulièrement espacés, arbres élagués pour dégager le sous-bois.

- arbres supportant l'élagage et acceptant les plantes grimpantes, susceptibles de fixer l'azote et produisant un bois de bonne qualité, à feuillage peu dense (ombre moyenne).

- poivriers et ignames plantés au pied des arbres, alternativement tous les deux arbres, double rangée de taros entre les rangées d'arbres.

Dans l'usage courant, une pratique ou une technologie deviennent un système dès qu'elles sont bien développées et qu'on les trouve couramment dans une région donnée, de telle manière qu'elles forment un système bien défini d'utilisation des terres pour cette région (Nair, 1985). C'est l'acceptation la plus courante du binôme "système agroforestier", ainsi qu'il a été dit plus haut (voir "systèmes agroforestiers"). Pour les raisons évoquées ci-dessus, les termes "technologie", "système" et parfois "pratique" sont souvent utilisés l'un pour l'autre dans la littérature agroforestière, y compris, et à dessein, dans le présent document.

Le concept de technologie doit être considéré comme central en agroforesterie. A ce niveau détaillé de spécifications, il existe un grand nombre de technologies agroforestières (ou de systèmes agroforestiers, selon les auteurs): des centaines, voire des milliers, d'après Young (1989). Une technologie est généralement adaptée à un site particulier mais on peut la donner avec plus ou moins de spécifications de sorte que son domaine d'application soit flexible. Structure et fonction peuvent être définis dans le contexte d'une technologie et pas uniquement dans celui d'un système. C'est une technologie, ou un ensemble de technologies, accompagnée des détails permettant leur mise en place, que l'on utilisera à des fins de vulgarisation de l'agroforesterie. La science de l'art agroforestier est décrite par les technologies de l'agroforesterie. C'est donc le terme "technologie" qui a été retenu pour les descriptions agroforestières de la deuxième partie de ce document.

Young (voir note au bas du Tableau 1, p. 87) a récemment opté pour le mot "technologie" à la place de "pratique", ce qui confirme qu'il est probablement mieux d'utiliser technologie pour un arrangement précis et détaillé de composantes et de donner à pratique un sens plus général.

8.3 Pratique traditionnelle

Lorsqu'une technologie existe depuis un certain temps, et qu'elle est régulièrement pratiquée par des paysans, il est possible de l'appeler une **pratique agroforestière traditionnelle**. En d'autres termes, une pratique traditionnelle est toujours une technologie alors qu'une technologie n'est pas toujours une pratique traditionnelle. Une technologie peut être une proposition de gestion de la terre de type agroforestier, ou une expérience agroforestière en station ou en milieu paysan, et donc pas une pratique au sens de pratique traditionnelle. Dans la mesure où la notion d'habitude, de répétition, est incluse dans le mot pratique, il serait logique de supprimer l'adjectif "traditionnelle". Ceci n'est cependant pas souhaitable, afin d'éviter les confusions possibles dues aux différents usages rencontrés dans la littérature.

8.4 Intervention

Afin d'analyser les systèmes agraires, d'y identifier d'éventuelles contraintes et de proposer des solutions agroforestières censées résoudre ces contraintes, l'ICRAF utilise une approche connue sous le nom de "D and D" (pour "Diagnostic and Design", ou "Diagnostic et Conception").

Une technologie agroforestière proposée afin de résoudre certaines contraintes identifiées par un exercice de diagnostic est appelée une **intervention agroforestière**.

Après avoir rapidement décrit la technologie agroforestière que nous avons observée sur le terrain (technologie qui, dans ce cas particulier, est une pratique traditionnelle), nous devons maintenant décrire avec plus de détails le système agroforestier auquel elle appartient. Comme indiqué plus haut, nous devons nous pencher sur sa structure et sa fonction.

9. ANALYSE STRUCTURALE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS

(d'après Huxley, 1983 et Nair, 1985)

L'analyse structurale des systèmes agroforestiers permet d'en proposer une classification simple qui est la plus largement utilisée et celle retenue dans le contexte du présent document (voir plus loin: "Les principales technologies agroforestières").

9.1 Présence

Les principales composantes de l'agroforesterie, au nombre de trois, les ligneux, les plantes saisonnières et les animaux (ou pâturages),

définissent les catégories structurales suivantes, fondées sur la nature et la présence de ces composantes:

- **systèmes agrosylviculturaux:** plantes saisonnières et arbres
 - **systèmes sylvopastoraux:** arbres et animaux / pâturages
 - **systèmes agrosylvopastoraux.** plantes saisonnières, arbres et animaux / pâturages
- il existe par ailleurs un certain nombre d'autres systèmes, comme par exemple l'apiculture en association avec des arbres, la pisciculture en association avec des arbres (ou aquaforesterie), ou Ventomoforesterie (élevage d'insectes en association avec des arbres) que l'on classe séparément bien qu'il s'agisse au sens strict du terme de systèmes sylvopastoraux.

On convient que pour qu'un système bénéficie du suffixe "pastoral", il faut généralement que les animaux soient physiquement présents à proximité des arbres, sur la même parcelle. Par exemple un système de culture en couloirs dont le fourrage arboré est destiné à des animaux en stabulation Interne sera agrosylvicultural. Il ne sera agrosylvopastoral que si les animaux viennent paître sur la parcelle.

Cette dernière règle n'est cependant pas stricte: on a par exemple l'habitude de qualifier de sylvopastoraux les systèmes de production de fourrage en bandes boisées en différents endroits des parcelles agricoles, même si le fourrage est transporté jusqu'à l'étable. C'est ici l'interaction des composantes qui est retenue comme un critère d'agroforesterie, plus que leur juxtaposition. Cette dernière remarque s'applique aussi à certaines parcelles boisées à usages multiples.

9.2 Disposition

Deux aspects sont à prendre en compte en ce qui concerne la disposition des composantes: l'espace et le temps.

La disposition spatiale concerne l'emplacement physique des composantes sur la parcelle considérée. Il est également important de décrire la disposition temporelle (ou séquence) parce que les différentes composantes peuvent se trouver simultanément sur la parcelle, se suivre dans le temps ou se chevaucher partiellement.

On décrit généralement la disposition en fonction des composantes ligneuses (arbres) et non ligneuses, mais dans certains cas, plusieurs

composantes peuvent être ligneuses, comme par exemple dans certaines plantations associant arDres et cultures pérennes (arbres d'ombrage sur caféière), dans les parcelles boisées à usages multiples ou dans certains jardins forêts.

Les principaux types possibles de disposition des composantes peuvent être décrits par les catégories suivantes, les deux caractéristiques étant mutuellement exclusives dans chaque catégorie:

(1) disposition en mélange / ordonnée

(1.1) **en mélange (mêlée, mixte)**: les différentes composantes ne sont pas arrangées géométriquement, mais disposées de manière irrégulière, par exemple des arbres dispersés dans une parcelle agricole, un jardin-forêt ou de la pisciculture en mangrove.

(1.2) **ordonnée (en alignement, zonale)**. les différentes composantes sont disposées géométriquement, par exemple des rangées d'arbres et des couloirs de cultures saisonnières, des haies brise-vent, des rangées d'arbres sur les talus de terrasses.

(2) disposition dense / clairsemée

(2.1) **dense**: les composantes sont proches les unes des autres, sur l'ensemble de la parcelle, comme par exemple dans un jardin-forêt, des cultures en couloirs ou comme dans l'exemple donné plus haut où chaque arbre supportait une plante grimpante.

(2.2) **clairsemée**: les composantes sont loin les unes des autres, par exemple des arbres isolés sur un pâturage ou des rangées d'arbres sur des digues de rizières.

(3) disposition monostrate / pluristrate

(3.1) **monostrate**: il y a un seul étage arborescent, par exemple les cultures en couloirs, des haies vives ou brise-vent à une seule espèce.

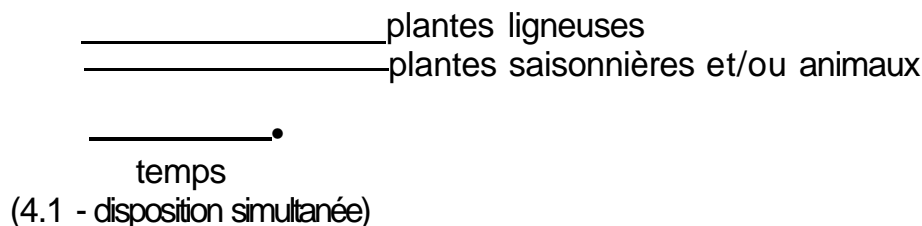
(3.2) **pluristrate**: il y a plusieurs étages arborescents comme par exemple dans beaucoup de jardins de case ou jardins-forêts, dans des parcelles boisées à usages multiples, ou dans des haies brise-vent à deux ou plusieurs espèces de dimensions différentes.

(4) disposition simultanée / séquentielle

(4.1) **simultanée**: les différentes composantes sont présentes simultanément sur la même parcelle. Exemples: arbres dans un pâturage,

association d'arbres et de cultures pérennes. Ce type de disposition peut aussi être appelé **coïncident**.

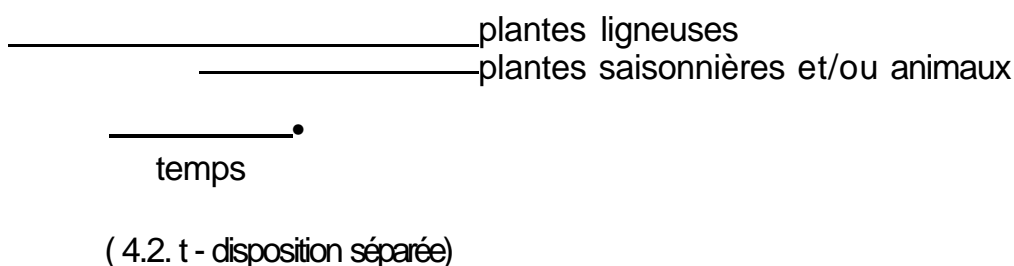
On peut schématiquement représenter la disposition simultanée de la manière suivante:



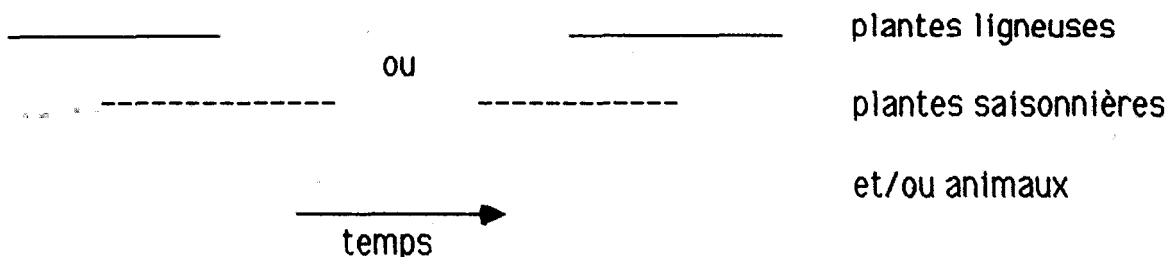
(42) **séquentielle** : les différentes composantes ne sont pas présentes simultanément sur la parcelle mais se suivent, par exemple une jachère arborée en alternance avec une utilisation agricole classique de la terre, ou se recouvrent partiellement dans le temps, par exemple plantation d'arbres pour jachère améliorée avant la fin du cycle agricole.

Dans le cas des dispositions séquentielles, on doit appliquer l'une des catégories suivantes:

(42.1) disposition **séparée**, ou **en relais**: les composantes ligneuses et non ligneuses ne se chevauchent pas dans le temps, par exemple dans l'agriculture itinérante, les jachères améliorées et tous les systèmes en rotation totale.

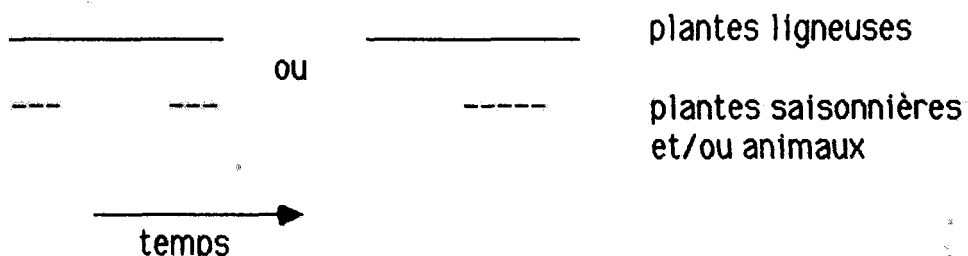


(42.2) disposition **chevauchante** ou **recouvrante**: les cycles de culture des composantes ligneuses et non ligneuses se chevauchent partiellement, l'une ou l'autre des composantes pouvant être la première présente. Exemples: parcelle boisée à usages multiples dans laquelle on introduit des plantes saisonnières tolérantes à l'ombre ou plantations d'arbres pour une jachère améliorée avant la fin du cycle des plantes saisonnières.



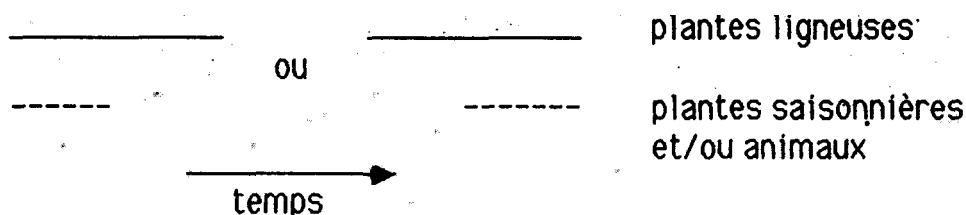
(4.2.2 - disposition chevauchante)

(4.2.3) disposition **Interpolée**, ou **Intermittente**: la composante ligneuse est toujours présente et la composante non ligneuse n'est présente que pendant certaines périodes, par exemple le pâturage saisonnier d'animaux sous des arbres ou le renouvellement irrégulier d'une partie du sous-bois dans un jardin-forêt.



(4.2.3 - disposition interpolée)

(4.2.4) disposition **concomitante**: la composante ligneuse est toujours présente et la composante saisonnière n'est présente qu'au début ou à la fin du cycle de culture de la composante ligneuse. Par exemple culture en association de plantes saisonnières et d'arbres jusqu'à ce que ceux-ci ferment leur canopée (technologie Taungya), installation de ruches dans un verger déjà en production.



(4.2.4 - disposition concomitante)

Les catégories (4.2.1) à (4.2.4) ne sont pas mutuellement exclusives. On peut par exemple imaginer une disposition d'abord interpolée devenant en

relais lorsque la composante ligneuse est enlevée pour laisser tout l'espace aux plantes saisonnières pendant quelques saisons.

On a l'habitude de classer parmi les dispositions simultanées, et non pas séquentielles, les systèmes dans lesquels la composante saisonnière est absente seulement pendant la morte saison: la culture en couloirs, par exemple, est une disposition simultanée; ce n'est que si on laisse la composante ligneuse envahir l'ensemble de la parcelle pendant une ou plusieurs saisons de croissance (cas de la culture en couloirs en rotation, qui est une forme de Jachère améliorée) que la disposition devient séquentielle.

Lorsque plus de deux espèces différentes sont combinées dans un système agroforestier, il est possible de décrire la disposition temporelle de chacune des espèces par rapport à une autre.

10. ANALYSE FONCTIONNELLE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS

La description de la fonction d'un système en demande une étude approfondie. A ce stade, il n'est plus suffisant "d'observer" le système comme nous l'avons fait jusqu'à maintenant, mais il faut "l'analyser". Un mot d'abord à propos de l'utilisation du mot "fonction": ce mot est utilisé ici dans le sens qu'il a dans le cadre de l'approche systèmes, c'est à dire les relations entre les intrants et les extrants du système (voir plus haut: "l'approche systémique"). "Fonction" a parfois un autre sens dans la littérature agroforestière, synonyme avec "rôle"; par exemple le fait qu'un arbre protège le sol de l'érosion est, dans le présent contexte, un rôle, ou encore un service, mais pas une fonction au sens de l'analyse des systèmes.

Pour analyser un système du point de vue fonctionnel, nous devons en identifier les intrants et les extrants. Il peut être pratique pour cela de subdiviser le système en sous-systèmes.

On distingue généralement les catégories des intrants et extrants bio-physiques et des intrants et extrants économiques. Les intrants et extrants bio-physiques sont des biens "gratuits" du point de vue du paysan, par exemple la pluie, l'énergie solaire, l'azote fixé par les nodules racinaires, l'ombre, le contrôle de l'érosion. Les intrants et extrants économiques sont ceux qui peuvent être achetés ou vendus, ou qui peuvent être quantifiés en termes de valeur monétaire, par exemple la terre, l'équipement en matériel, les semences, la main d'oeuvre, les subventions, et bien sur toutes les productions, même celles qui sont réinvesties dans le système, comme par exemple le fumier ou le palliage.

Dans le premier exemple dont nous avons parlé (arbres support pour poivriers, ignames et taros Intercalés), les principaux Intrants et extrants seraient:

- intrants: semences (plantes saisonnières), plants (arbres), engrais et autres produits chimiques, main d'oeuvre, terre, azote fixé par les arbres.

- extrants: produits de subsistance (ignames, taros), produits de rente (poivre), bois de feu, matière organique incorporée dans le sol.

Ce n'est que lorsque les intrants et les extrants du système sont connus que l'on peut analyser sa fonction en termes de gestion et de productivité.

10.1 Gestion

On appelle **gestion** les méthodes utilisées pour transformer les intrants en extrants. En termes plus simples, que doit faire le paysan pour que ses plants deviennent des arbres donnant un bon bois de feu et fixant bien l'azote, et pour que ses graines se transforment en quelque chose de comestible ou de vendable?

Pour gérer sa terre, le paysan a des ressources à sa disposition. Les **ressources** sont des intrants du système. Les décisions du paysan peuvent avoir une influence sur certaines ressources et pas sur d'autres; par exemple, il ne contrôle pas la quantité de pluie ou d'énergie solaire, mais peut arranger ses plantes de manière à ce qu'elles profitent (ou pâtissent) plus ou moins de l'effet de ces ressources; il peut décider d'appliquer des engrais ou d'utiliser ses machines pour telle culture plutôt que pour telle autre. Gérer le système consiste à décider où, quand et comment utiliser les ressources qui sont disponibles.

Notre paysan (toujours le même!) devra par exemple tailler ses arbres une fois par an pour permettre à suffisamment de lumière d'atteindre les autres plantes. Il devra récolter son poivre une fois par an, mais ses haricots deux fois par an, et ses ignames à la demande, selon ses besoins en nourriture. Il labourera et désherbera sa parcelle deux fois par an, mais ne mettra de l'engrais que tous les deux ans. La première année, il aura mis un mélange NPK à 30-30-40, mais dès la fertilisation suivante, il n'amendera qu'en phosphore et potassium, puisque ses arbres auront commencé à enrichir le sol en azote. Si l'on considère l'année de mise en place de la plantation, les autres décisions de gestion concerneront la préparation de la terre, les semis et repiquages, etc. Les arbres et les poivriers, plantes pérennes, sont plantés une fois seulement, alors que les ignames et les taros sont replantés saisonnièrement.

On quantifie généralement la gestion d'un système en termes d'unités d'intrants (ex: main d'oeuvre, engrais) par unité de temps ou d'espace (ex: mois, hectare). Par exemple notre fermier consacre 10 hommes-jour par hectare, ou 20 hommes-jour par an à la taille de ses arbres (cas d'une exploitation de 1 hectare, avec 2 tailles par an), doit louer un attelage de boeufs pendant 20 jours par an pour labourer sa parcelle, et utilise 25 litres d'insecticide par an pour ses taros, au moyen d'un atomiseur qu'il a acheté et qui est amorti sur 5 ans; il consacre par ailleurs 2 jours par mois au désherbage manuel de sa parcelle. La récolte demande tant de jours de travail par culture et dépend de la main d'oeuvre familiale, sauf pour le poivre, pour lequel de la main d'oeuvre salariée est employée, etc.

On distingue généralement les opérations de gestion technique et celles de gestion socio-économique. Par exemple l'utilisation de tel ou tel outil agricole ou l'épandage d'engrais sont des décisions de gestion technique alors que l'allocation de main d'oeuvre ou d'argent frais sont des décisions de gestion socio-économique.

10.2 Productivité

La productivité (ou performance) d'un système est la relation quantifiée entre les intrants et les extrants, ou, en d'autres termes, le rapport extrants / intrants. C'est une mesure de l'efficacité d'un système. Comme pour la gestion, on distingue généralement les productivités technique et socio-économique.

L'efficacité biologique ou écologique d'un système appartient à la productivité technique, par exemple quelle est la production totale de biomasse par hectare, ou quel est le rapport des extrants aux Intrants d'énergie.

Pour la productivité économique, on doit prendre en compte la valeur marchande des intrants et extrants, y compris celle des biens de subsistance ou qui sont réinvestis dans le système et qui doivent être quantifiés en termes de valeur monétaire. La productivité économique s'exprime en unités d'extrait (ou leur équivalent monétaire) par unité de temps et / ou d'espace ou d' autre intrant.

La productivité sociale est un concept plus abstrait et délicat à quantifier mais néanmoins important. Il s'agit ici d'évaluer l'impact du système sur le bien-être des populations concernées. La satisfaction des foyers ou des communautés villageoises, ou le comportement d'un groupe de population après l'adoption d'un nouveau système sont des faits de productivité sociale.

Si nous prenons encore le premier exemple cité, on pourra calculer que la productivité en poivre est par exemple de 200 kg par hectare par an, équivalent à un revenu de 500 dollars par hectare par an. La productivité peut aussi être évaluée en fonction de la main d'oeuvre investie, par exemple la production de poivre ci-dessus correspond à une productivité de 5kg de poivre par jour de main-d'oeuvre. Un exemple de productivité d'un extrant non commercialisé serait, celui du bois de feu directement utilisé pour lequel on calculera par exemple une productivité de 1500 kg (équivalent à 300 dollars) par hectare par an.

11. LES PRINCIPALES TECHNOLOGIES AGROFORESTIERES

11.1 Critères de classification des technologies

Les technologies agroforestières présentées dans les pages qui suivent ont été classées en six catégories principales, selon des critères structuraux de disposition des différentes composantes. Au niveau de la définition de ces six catégories, c'est, dans la structure, les critères de disposition (et non pas ceux de présence) qui sont pris en considération en premier lieu et, à cet égard, la présente classification se distingue de celle de Nair (1985). Ces critères de disposition sont pris au sens large, de sorte que chaque catégorie représente un type général d'organisation des composantes agroforestières. A l'intérieur de chaque type, la présence et la disposition précise des composantes peuvent varier.

Avant de rentrer dans le détail de la classification des technologies, il n'est pas inutile de rappeler qu'il existe d'autres classifications des technologies agroforestières et d'en faire un bref historique.

La première réflexion détaillée sur la classification des technologies agroforestières remonte vraisemblablement à Combe and Budowski (1979) et est reprise par Torres (1983). La distinction générale, fondée sur la présence des composantes, entre systèmes agrosylviculturaux, sylvopastoraux et agrosylvopastoraux (voir plus haut: "Analyse structurale des systèmes agroforestiers") est dès lors admise.

Ces auteurs indiquent ensuite une classification fondée sur les productions et services de la composante ligneuse, par exemple production de bois, de fruits, de fourrage, ou service brise-vent, ombrage, conservation du sol. A un niveau plus détaillé, c'est la structure temporelle (combinaison permanente ou temporaire) et spatiale (disposition régulière ou irrégulière) qui sont proposées. Ce sont ces derniers critères structuraux, plus détaillés,

qui sont repris dans le présent document.

La classification de Wiersum (1981), outre les 3 principales combinaisons de composantes, met directement l'accent sur la structure spatiale et temporelle de la composante ligneuse et des autres composantes et, en ce sens, se rapproche de celle utilisée dans le présent document.

Huxley (1983) propose une première division selon que le système est en rotation ou pas, puis introduit une distinction entre les systèmes ordonnés ou en mélange. Les niveaux suivants de classification peuvent ensuite dépendre de critères biologiques, physiques, environnementaux ou socio-économiques, selon le but de la classification. Un accent particulier est mis sur l'organisation des cultures dans le temps, selon une série de séquences culturelles possibles, reprise de manière simplifiée dans le présent document (voir plus haut: "Analyse structurale des systèmes agroforestiers").

En 1985, Nair reprend la classification de base en trois grandes catégories principales fondées sur la présence des composantes, puis combine des critères de structure et de fonction dans les ordres inférieurs de la classification, et les systèmes proposés sont parfois mal définis ou pas clairement distincts d'une catégorie à l'autre. L'auteur indique néanmoins que les critères structuraux sont plus aisés à utiliser que les critères fonctionnels en raison d'interférences entre les rôles de production et de service lorsque les critères fonctionnels sont utilisés.

Le même auteur indique ensuite d'autres critères selon lesquels peuvent être classés les systèmes agroforestiers. Les critères écologiques ne permettent pas une classification satisfaisante car les grands types agroforestiers peuvent se rencontrer dans différentes zones agro-écologiques. Les critères socio-économiques, tels qu'une gestion orientée vers l'économie de marché ou de subsistance, ne sont pas non plus conseillés par Nair (op cit) pour servir de base à une classification de l'agroforesterie, dans la mesure où ces critères peuvent être sujets à changements dans l'espace et dans le temps. En conclusion, l'auteur suggère d'utiliser la présence des composantes comme critère de départ à toute classification agroforestière, puis d'utiliser un des autres critères, selon le but de la classification. Dans sa récente compilation des systèmes agroforestiers sous les tropiques (Nair, 1989), ce sont néanmoins des critères géographiques qui sont utilisés.

Pour terminer cette revue des classifications agroforestières, on peut citer Young (1989) qui propose une liste concise d'une vingtaine de pratiques agroforestières censées couvrir toutes les dispositions possibles des composantes dans l'espace et dans le temps (Table 1). Une classification

similaire avait été proposée auparavant par Baumer and Wood (1986). Ces pratiques correspondent à peu près à ce qui est nommé "technologies" dans le présent document.

On notera que dans ces deux dernières classifications, le critère de présence des composantes n'est pas important: il est ignoré par Baumer and Wood, et Young (voir Tableau 1) classe les pratiques sur des critères essentiellement (mais pas exclusivement) structuraux, à l'intérieur de trois grandes catégories fondées sur la présence des composantes, dont une est nouvelle (arbres prédominants), alors que la catégorie agrosylvopastorale a disparu et n'apparaît qu'à un niveau hiérarchique inférieur. Enfin, une catégorie spéciale est créée pour les composantes particulières telles que les animaux aquatiques et les insectes et il est signalé qu'un certain nombre de pratiques peuvent se rattacher à deux des grandes catégories.

On voit apparaître dans les classifications de Young et de Baumer and Wood la remarque fondamentale qui soutient la classification proposée dans les pages qui suivent, à savoir qu'il n'est pas indispensable de prendre la présence des composantes comme critère essentiel, mais que la disposition de ces composantes est un critère plus pratique.

Un certain nombre de pratiques mentionnées par Young ne sont pas identifiées sur des critères structuraux mais fonctionnels, comme par exemple les transferts de biomasse, les plantations de lisière ou les banques fourragères, de sorte qu'il peut y avoir chevauchement entre pratiques. Une plantation de lisière peut par exemple parfaitement assurer un transfert de biomasse, ou un jardin-forêt le rôle de banque fourragère. C'est pour éviter de tels chevauchements que, dans les pages qui suivent, les technologies sont classées sur des critères strictement structuraux, en six grandes catégories. Ces catégories apparaissent dans le Tableau 2, ainsi que les principales technologies présentes dans chaque catégorie.

Tableau 1. Pratiques* agroforestières (Young, 1989)

PRATIQUES ESSENTIELLEMENT AGROSYLVICULTURALES (arbres et cultures)

Pratiques séquentielles

- Agriculture itinérante
- Jachère arborée améliorée
- Méthode Taungya

Pratiques simultanées en mélange

- Arbres sur terres de culture
- Plantations de rente associées à des arbres
- Jardins-forets multistrates

Pratiques simultanées ordonnées

- Cultures en couloirs (haies barrières) (pratique également agrosylvopastorale)
- Plantations en lisières
- Arbres sur des structures anti-érosives
- Brise-vent et rideaux-abris (pratiques également sylvopastorales)
- Transferts de biomasse

PRATIQUES ESSENTIELLEMENT OU PARTIELLEMENT SYLVOPASTORALES (arbres avec pâturages et animaux)

Pratiques simultanées en mélange

- Arbres sur parcours ou pâturages
- Plantations de rente associées à des pâturages

Pratiques simultanées ordonnées

- Clôtures vivantes
- Banques fourragères

PRATIQUES A COMPOSANTE ARBORÉE PRÉDOMINANTE (voir aussi la méthode Taungya)

- Parcelles boisées polyvalentes
- Foresterie de mise en valeur polyvalente des terres dégradées

PRATIQUES COMPRENANT D'AUTRES COMPOSANTES

- Entomoforesterie (arbres avec insectes)
- Aquaforesterie (arbres associés à des pêcheries)

* Depuis la parution de l'ouvrage, ce mot a été remplacé par "technologie" (Young, comm. pers.).

Tableau 2 - Technologies agroforestières (voir chapitres 11.2 à 11.7)

CULTURES SOUS COUVERT ARBORÉ

- Arbres dispersés dans les parcelles agricoles
- Plantations de rente associées à des arbres à usage multiple
- Arbres d'ombrage sur cultures

PRODUCTION ANIMALE SOUS COUVERT ARBORÉ

- Pâturage sous forêt ou arbres dispersés
- Production fourragère sous forêt ou arbres dispersés
- Production animale en savane arborée

AGROFORETS

- Jardins-forêts et jardins de case
- Forêts villageoises
- Parcelles boisées, micro-boisements et autres plantations d'arbres en bloc en milieu paysan

TECHNOLOGIES AGROFORESTIERES EN DISPOSITION LINEAIRE

- Brise-vent et autres rideaux-abri
- Plantations de lisière
- Haies vives
- , Clôtures vivantes
- Bandes boisées et haies arbustives
- Haies en courbes de niveau et pour la conservation des sols
- Cultures en couloirs
- Agriculture en couloirs (culture en couloir à composante animale)

TECHNOLOGIES AGROFORESTIERES SEQUENTIELLES

- Agriculture itinérante
- Jachères arborées améliorées
- Méthode Taungya

AUTRES TECHNOLOGIES AGROFORESTIERES

- Arbres associés à des pêcheries (aquaforesterie)
- Arbres associés à des insectes (entomoforesterie)

11.2 Cultures ou production animale sous couvert arboré

11.2.1 Cultures sous couvert arboré

On classe dans cette catégorie toutes les combinaisons d'arbres et de cultures dans lesquelles la composante arborescente constitue un étage supérieur recouvrant des cultures. La couverture d'arbres peut être très ouverte, comme dans certaines savanes arborées, ou presque fermée, comme pour les arbres d'ombrages sur certaines caféières ou cacaoyères. Les cultures peuvent être saisonnières, c'est le cas des céréales cultivées sous les *Faidherbia albida* et d'autres arbres des zones semi-arides, disposition connue dans le Sahel sous le nom de "système à parcs". Les cultures peuvent aussi être pérennes, comme par exemple les cacaoyers poussant sous ombrage de cocotiers.

On ne met pas dans cette catégorie les plantes fourragères ou les animaux sous couvert arboré qui appartiennent à la catégorie suivante, spécialement animale. On n'y met pas non plus les systèmes dans lesquels la composante arborée est pluristrate, qui ont eux aussi leur propre catégorie (voir plus loin).

Un important groupe dans cette catégorie est celui des parcelles agricoles plantées d'arbres à usages multiples (fiPTS ou farmlands or croplands). Ce peut par exemple être des arbres fruitiers clairsemés sur des parcelles destinées à des productions de subsistance. C'est aussi le cas des oasis.

La figure 3 montre comment des arbres peuvent être irrégulièrement disposés sur une parcelle agricole.

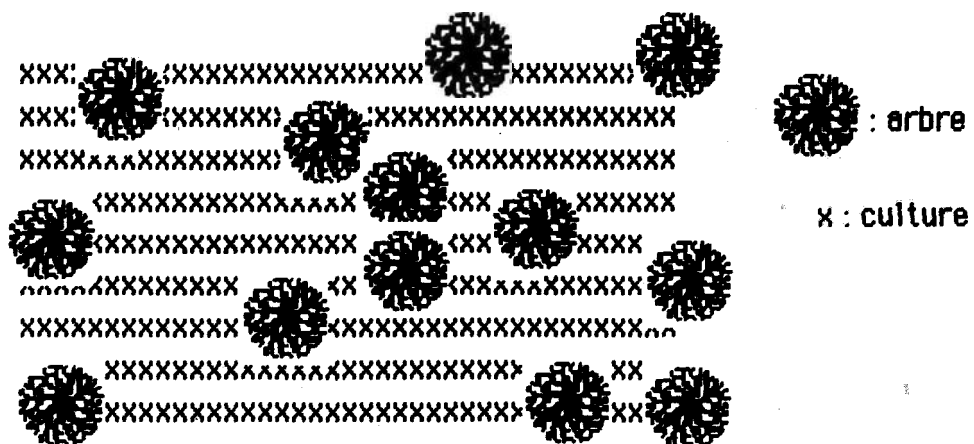


Figure 3 - Représentation schématique de cultures sous couvert arboré clairsemé

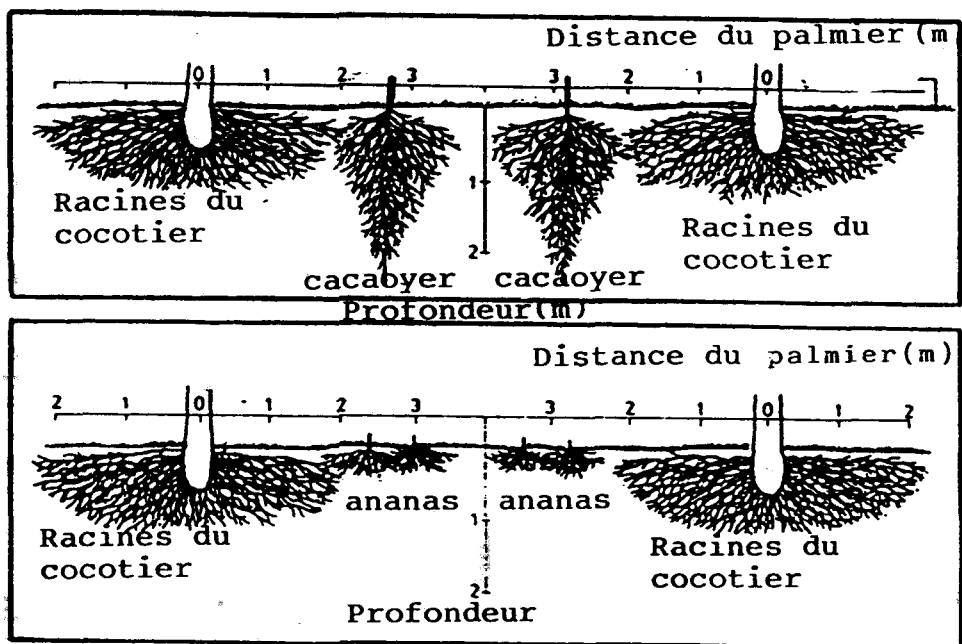
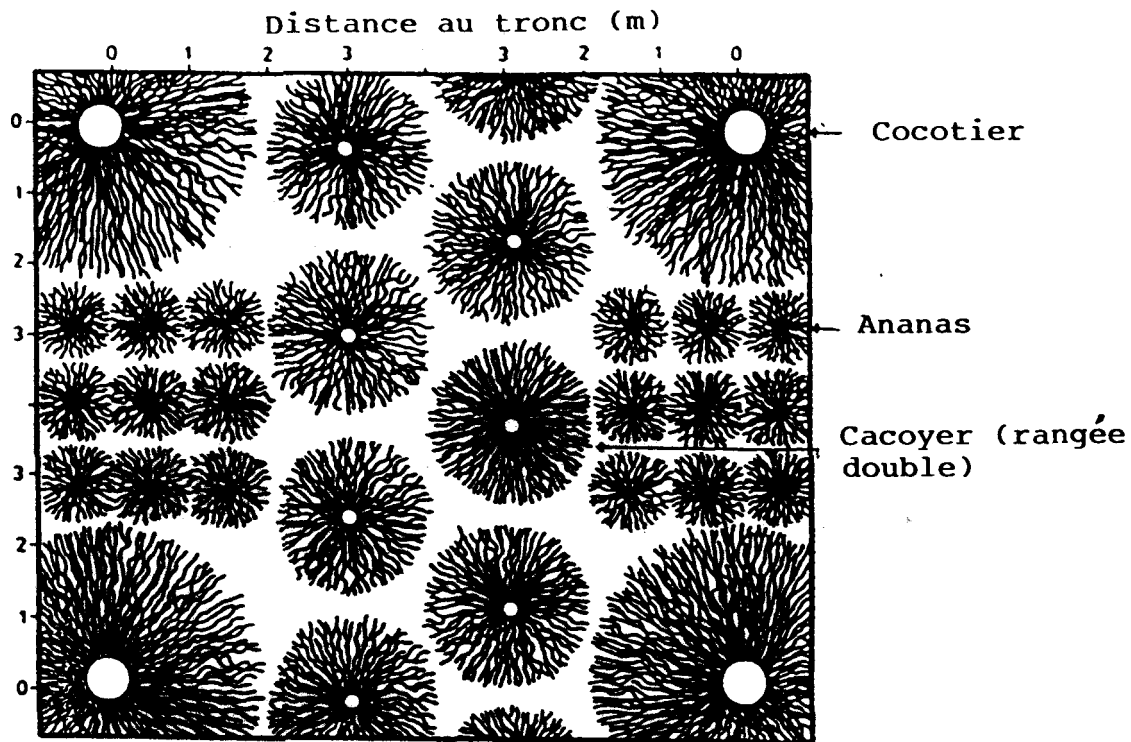


Fig. 4. Représentation schématique de la distribution horizontale(en haut) et verticale (en bas) des racines dans une combinaison multistrata de cocotier, ananas et cacaoyers (D'après Nelliati et al. 1974, in Nair, 1983).

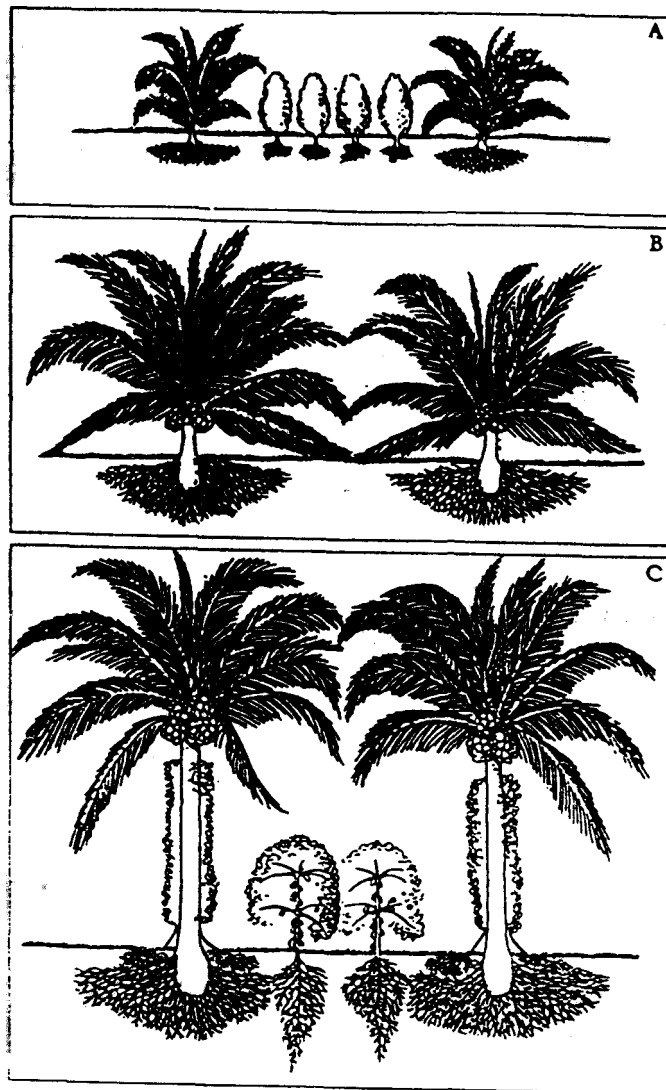


Fig. 5 Représentation schématique des phases de croissance du cocotier, indiquant des possibilités pour des combinaisons de cultures (d'après Nair, 1983).

- A. Phase précoce, jusqu'à 8 ans: les cimes se développent graduellement; haut potentiel d'associations culturales.
- B. Phase intermédiaire, de 8 à 25 ans environ; les cimes couvrent largement le sol; faible potentiel d'associations culturales.
- C. Phase tardive: potentiel accru d'associations culturales. Le schéma montre une association de cocotiers, cacaoyers et poivriers.

Les plantations intensives, de rente, associées à des arbres à usages multiples (plantation crop combinations) appartiennent aussi à la catégorie des cultures sous couvert arboré. Un des cas les plus célèbres est celui de la culture du café sous ombrage d'*Erythrina poeppigiana* en Amérique centrale. On cultive également le café et le cacao sous ombrage de *Casuarina* en Papouasie Nouvelle Guinée et le cacao est souvent cultivé dans les cocoteraies également. En région méditerranéenne, on pratique la culture des céréales sous oliviers.

Les figures 4 et 5 montrent comment l'on peut associer des cultures de rente à des cocotiers. On notera sur les figures la représentation des systèmes racinaires et la manière dont ils exploitent différentes zones du sol.

Caractéristiques structurales des cultures sous couvert arboré

- Présence: - technologie agrosylviculaire
- Disposition: - en mélange ou ordonnée (selon que les arbres sont dispersés au hasard ou alignés)
- dense ou clairsemée (selon que le couvert arborescent est fermé ou ouvert)
 - monostrate (pluristrate dans quelques rares cas, comme par exemple les plantations de café du Costa Rica poussant avec des *Inga* et des *Erythrina*).
 - simultanée.

11.2.2 Production animale sous couvert arboré

Cette catégorie a les mêmes caractéristiques, structurales que la catégorie précédente: un étage arborescent recouvrant un étage inférieur, ce dernier (et parfois l'étage supérieur également) étant ici destiné à la production animale. Ces deux premières catégories appartiennent donc à une même grande catégorie fondée sur la disposition des composantes, et c'est la présence des composantes qui les différencie.

Il peut s'agir d'animaux broutant sous des arbres des pâturages qui ont été intentionnellement plantés ou des animaux se nourrissant sur du fourrage ou du brout sauvage. Il peut aussi s'agir de production fourragère destinée à l'alimentation d'animaux en stabulation interne.

Toutes sortes d'animaux peuvent entrer dans cette catégorie, y compris la faune sauvage.

Bien que cette catégorie regroupe toutes les technologies agroforestières clairement orientées vers la production animale, on peut également trouver des animaux dans d'autres technologies comme par exemple les jardins forêts ou certains types d'agriculture itinérante. De nombreuses technologies, par ailleurs, peuvent être destinés à la production de fourrage; ce peut par exemple être le cas des Légumineuses arborescentes dans divers types de banques fourragères.

Le pâturage de bovins, ovins ou caprins sous couvert arboré est connu dans différentes parties du monde. La production laitière sous couvert d' *Alnus acuminata* est une pratique d'agriculture intensive au Costa Rica. Dans beaucoup de pays tropicaux, on laisse paître le bétail sous les cocotiers, même pratique sous des Eucalyptus ou des Pins dans le Pacifique Sud et dans des régions tropicales d'altitude. Dans les zones semi-arides, le bétail pâture souvent à l'abri d'arbres, notamment le *Faidherbia albida* qui est connu pour améliorer la production d'herbe à son entour. En région méditerranéenne, on connaît par exemple le cas des "Dehesas" en Espagne où une forêt ouverte dominée par des chênes est utilisée pour la culture des céréales et le pâturage de porcins, ovins ou bovins.

La figure 6 montre comment le *Faidherbia albida* et d'autres arbres à usages multiples sont associés aux cultures et aux animaux dans les hautes terres du Soudan. On notera la répartition du travail et surtout des principaux extrants tout au long de l'année, facteur décisif de la durabilité d'un tel système.

Caractéristiques structurales des productions animales sous couvert arboré

Présence: - Technologie sylvopastorale ou agrosylvopastorale

Disposition: - en mélange (peut être zonale dans le cas d'animaux pâturant sous des plantations forestières industrielles)

- clairsemée ou dense, les animaux pouvant brouter sous un couvert aéré d'arbres, mais aussi dans certains cas sous une canopée forestière fermée

- monostrate, sauf dans le cas de forêts denses pluristrates

- simultanée ou séquentielle, selon que les animaux sont toujours ou épisodiquement présents sous les

arbres. Dans un même système, la disposition peut être simultanée en ce qui concerne les cultures et séquentielle en ce qui concerne les animaux.

- lorsque la disposition est séquentielle, elle est généralement interpolée.

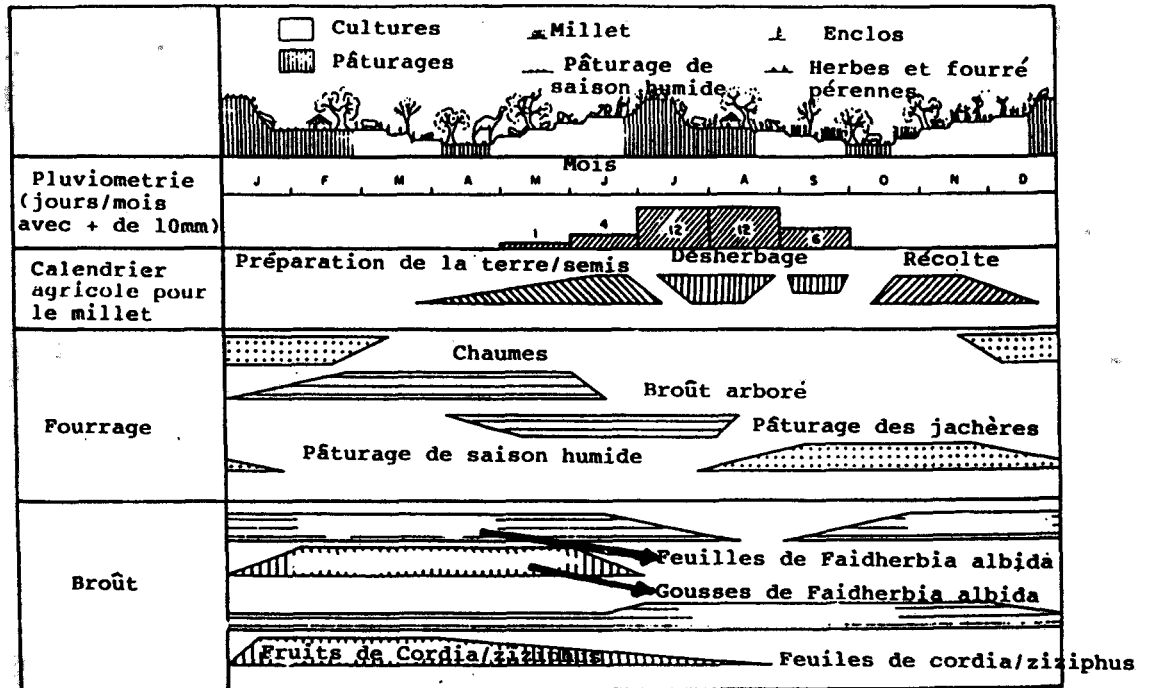


Fig. 6 Représentation schématique du calendrier agricole, des interactions temporelles et des éléments essentiels de la gestion des terres du Fur (Jebel Marra, Soudan). D'après Miehle, 1986.

11.3 Agroforêts

Cette catégorie comprend les technologies agroforestières qui donnent naissance à des communautés végétales ressemblant à des forêts et parfois à des forêts naturelles, d'où leur nom d'agroforêts. Il s'agit souvent de petites parcelles, mais leur structure est typiquement forestière, d'abord à cause de la présence de grands arbres, et souvent parcequ'elles sont multistrates et présentent un sous-bois sombre. On y trouve souvent une grande diversité d'espèces, dans une disposition non ordonnée, de très grands arbres cohabitant avec des arbres de dimensions réduites et des plantes de sous-bois, généralement tolérantes à l'ombre. Les animaux sont fréquemment présents.

Une autre caractéristique importante de ces agroforêts ne se trouve pas dans leur structure mais tient à la manière dont elles sont gérées. Dans la majorité des exemples agroforestiers dont nous avons parlé jusqu'ici, la

gestion est une gestion de type agricole, intensif, où les composantes (arbres ou cultures) sont considérées en groupes de plantes qui subissent le même traitement. Le système est ainsi orienté vers un nombre réduit de productions, obtenues en grande quantité. C'est le cas des cultures en couloirs et des cultures ou animaux sous couvert arboré.

Dans les agroforêts, il n'y a pas de traitement en masse des composantes, mais les arbres et les cultures sont traités comme des individus soumis chacun (ou par petit groupes) à des pratiques de gestion différentes, ainsi que l'a montré Mary (1986) pour les jardins-forêts et les forêts villageoises. C'est cette caractéristique, plus que la nature multistrate elle-même, qui fait que ces systèmes ressemblent à des forêts naturelles.

Les jardins de case arborescents (homegardens, ou plus exactement tree homegardens), parfois appelés jardins-forêts et connus surtout sous les tropiques humides, constituent l'exemple le plus clair de ce groupe de technologies. C'est une petite forêt de plantes utiles, soigneusement aménagée, et qui se trouve à proximité des maisons. On les connaît particulièrement bien en Asie et Asie du Sud Est où ils abritent une grande variété d'espèces de dimensions, types et cycles de croissance très variés ainsi que de nombreux animaux domestiques en autosuffisance alimentaire sur différentes productions du système. Dans certains pays, comme l'Indonésie, ils jouent un rôle fondamental dans l'économie agricole, en produisant à la fois des denrées ou autres produits de subsistance et de rapport, et répondent à la majorité des critères de la durabilité (voir plus haut). On connaît aussi les Jardins-forêts "Chagga" du Kilimandjaro, en Tanzanie, ainsi que ceux de la région de Kandy à Sri Lanka, ceux du Bangladesh et les jardins de case d'Afrique de l'Ouest. Les jardins-forêts existent également dans différents pays d'Amérique tropicale. La figure 7 est un profil de jardin-forêt au Nigeria.

Les forêts villageoises (village-forest-gardens) sont un autre exemple d'agroforêts. Leur structure est semblable à celle des Jardins-forêts mais elles couvrent généralement de plus grandes étendues et sont sous une gestion communale et pas familiale. Les forêts villageoises, de par leur taille et leur éloignement des maisons, sont généralement orientées vers les productions de rente plus que celles de subsistance et la diversité spécifique y est moins importante que dans les jardins-forêts. On connaît par exemple à Sumatra des agroforêts à Durlans (un fruit de grand rapport), à résine, à cannelle ou à clous de girofles. Le bois est un produit important des forêts villageoises. Les forêts villageoises font parfois partie d'un cycle d'agriculture itinérante (voir plus loin). La figure 8 est une représentation en profil d'une forêt villageoise à Java.

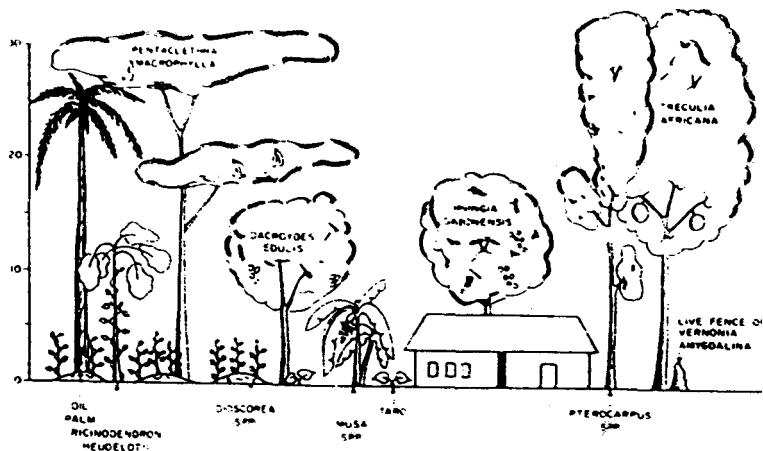


Fig. 7 Représentation schématique des strates verticales d'un jardin de case au Nigeria (D'après Okafor and Fernarides, 1987)

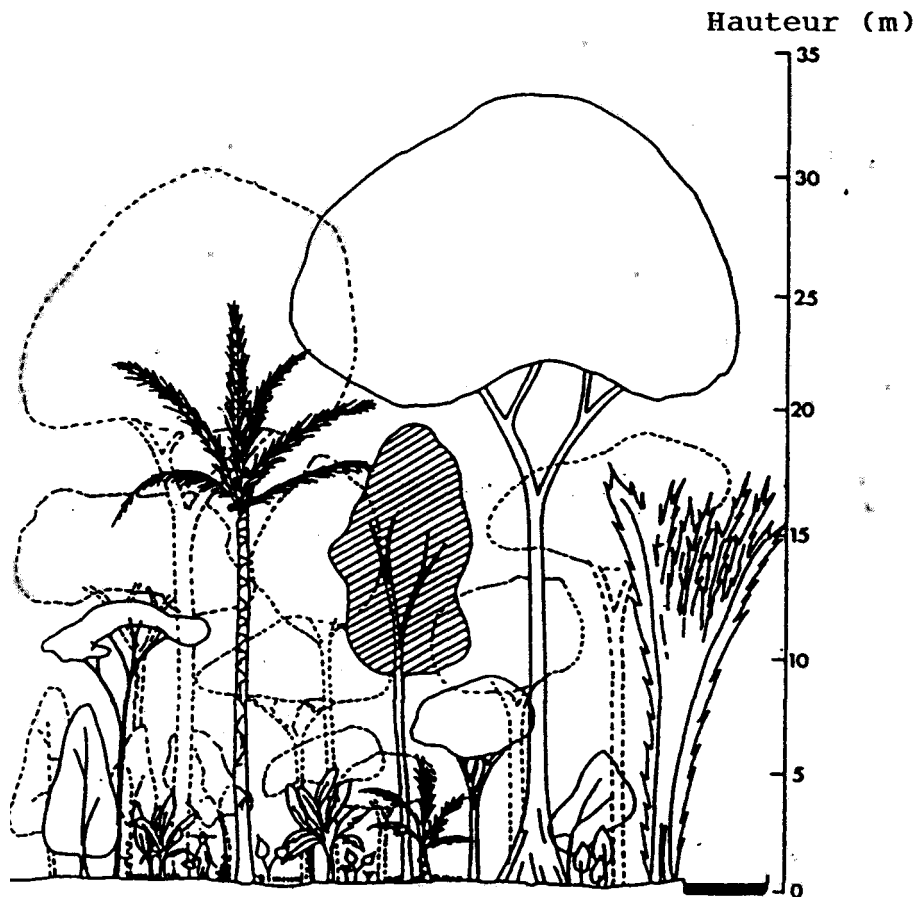


Fig. 9 Représentation schématique d'une forêt villageoise sensu stricto à Java. (D'après Michon, 1983)

Certaines parcelles boisées, ou micro-boisements, à usages multiples (multipurpose woodlots) n'incluent pas nécessairement de composante saisonnière ou animale mais peuvent être considérées comme des agroforêts en raison d'interactions écologiques ou économiques avec d'autres composantes des systèmes agraires. La même remarque peut être faite à propos de certaines haies d'arbres n'étant pas directement associées à des cultures mais que l'on considère néanmoins comme des technologies agroforestières (voir plus loin). La nature multi-usages de ces parcelles est également une caractéristique agroforestière. On se souvient aussi (voir plus haut: "Définition") que c'est par défaut que l'on peut considérer ces technologies comme agroforestières, dans la mesure où elles n'appartiennent pas au domaine de la foresterie classique.

Au Rwanda et au Kenya, il n'est pas rare que les paysans réservent quelques ares de leur terre à une parcelle boisée, souvent orientée essentiellement vers la production de bois de feu, mais qui peut avoir d'autres productions, par exemple les fruits. Une telle parcelle peut parfois être considérée comme un jardin-forêt spécialisé, notamment si sa plurispécificité lui donne une nature multistratée. Il est par ailleurs courant que de telles parcelles soient au départ établies par un espèce de système Taungya (voir plus loin) que le paysan s'accorde à lui-même, en associant ses arbres à des plantes saisonnières pendant les premières années. Plus tard, ce sont des animaux qui pourront être intégrés à la parcelle. La figure 9 montre une telle technologie pour l'établissement de parcelles boisées au Paraguay.

Un certain nombre de cas de foresterie sociale peuvent être mis dans la catégorie des agroforêts. La foresterie sociale est un type de plantation forestière faisant appel à la participation des populations rurales. Si le type de plantation est strictement destinée la production de bois d'œuvre, et il s'agit alors le plus souvent de plantations monospécifiques, ce n'est pas de l'agroforesterie. Mais lorsque la forêt sociale est à usages multiples et comprend différentes espèces, elle peut appartenir à la catégorie des agroforêts.

Caractéristiques structurales des agroforêts

Présence: -Technologie agrosylviculturale, ou agrosylvopastorale lorsque des animaux sont présents, comme dans la majorité des jardins-forêts.

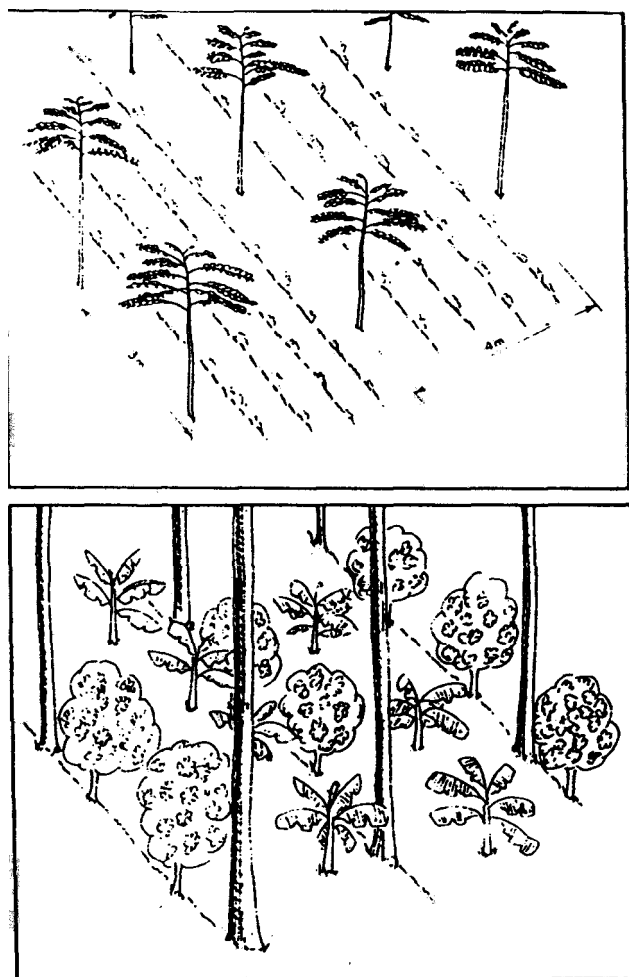


Fig. 9- Représentation schématique du système de plantation du Paraiso (*Melia azederach* var. *Gigante*) avec du Mate (*Ilex paraguayensis*) et des bananes- En haut, année de plantation, en bas, 7 ans plus tard. (D'après Evans and Rombold, 1985).

Disposition: • en mélange

- dense

- multistratée dans la grande majorité des cas

- simultanée le plus souvent, mais séquentielle parfois par rapport à certaines composantes qui peuvent n'être cultivées qu'épisodiquement, comme dans les jardins-forêts.

- la disposition est interpolée pour les composantes qui ne sont pas présentes en permanence.

11.4 Technologies agroforestières en disposition linéaire

Cette catégorie regroupe différentes technologies agroforestières dont la caractéristique commune est de présenter une disposition en ligne. Une condition supplémentaire est que ces lignes soient isolées, ou distantes les unes des autres, et ne présentant pas un alignement en série comme dans le cas de la culture en couloirs, qui appartient à une catégorie particulière (voir plus loin).

La ligne elle-même (ou "bande" lorsqu'elle est constituée de plus d'une rangée de plantes) peut comporter une association de ligneux et de plantes saisonnières, ou que des ligneux. Dans ce dernier cas, il faut, pour que l'on puisse parler d'agroforesterie, qu'il y ait interaction entre la bande arborée et des cultures saisonnières situées à proximité ou des animaux profitant directement des produits des arbres. Cependant, ces haies boisées sont le plus souvent sous la gestion directe des paysans et, à ce Utre, méritent, comme on l'a vu plus haut d'être considérées comme faisant partie de l'agroforesterie.

Les différents groupes de technologies dans cette catégorie sont:

- Les haies brise-vent (windbreaks) sont destinées à abriter les cultures ou les animaux des excès du vent. On les trouve dans beaucoup de zones géographiques où elles peuvent abriter toutes sortes de cultures, y compris des cas d'agriculture intensive. Outre leur rôle de protection, les brise-vent produisent le plus souvent du bois. Les brise-vent peuvent avoir un ou plusieurs étages arborés. La figure 10 montre l'effet d'une haie brise-vent sur la vitesse du vent.

- Les plantations d'arbres de bornage, ou en lisières (boundary planting with trees). marquent le parcellaire. C'est une pratique courante dans de nombreuses régions" et une méthode très-simple pour incorporer des arbres dans les exploitations agricoles. Les arbres peuvent être ébranchés, étêtés, recépés ou abattus, selon l'espèce et le type de production désirée.

- Les clôtures vivantes (live fences, ou living fences) sont constituées d'arbres fournissant des poteaux de clôture, généralement reliés entre eux par du fil de fer barbelé, du grillage ou des dosses.

- Les haies vives (live hedges) ont un rôle de barrière et sont définies comme des lignes d'arbustes ou arbrisseaux formant une barrière continue et régulièrement rabattus de manière à former une masse de feuillage et de branches entrelacés. Leur utilisation concerne essentiellement le parage des animaux.

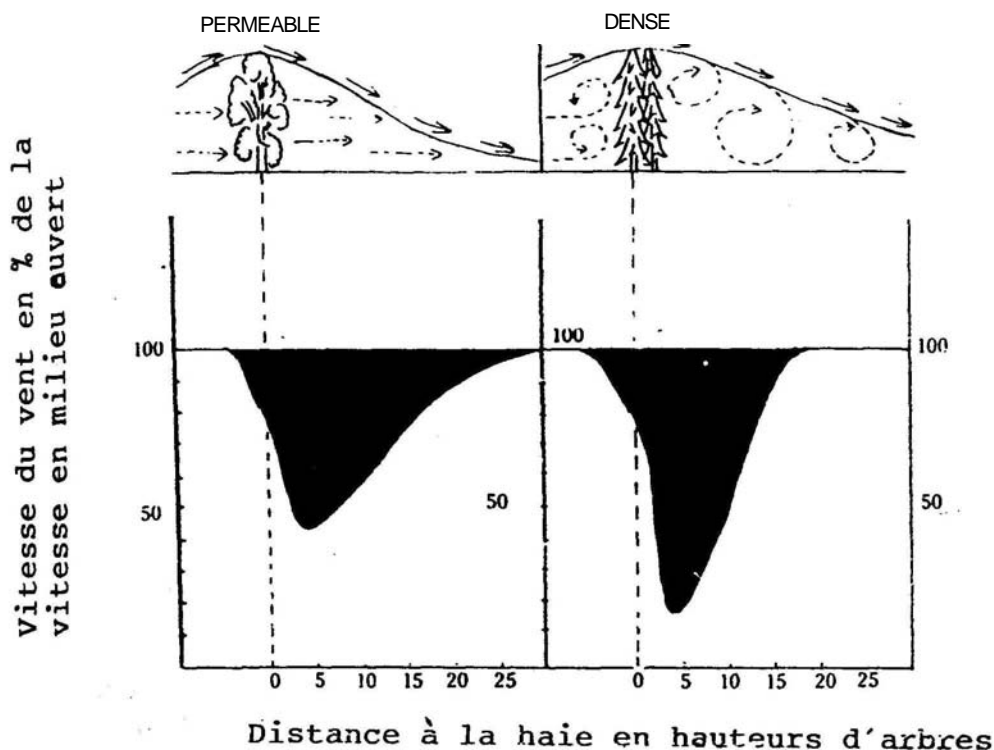


Fig. 10. Effet de brise -vent perméable et dense sur la vitesse du vent. CD'après Bottomley and Parker, 1974 in Reid and Wilson, 1985)

- Les bandes boisées et haies d'arbres en général (woody strips and tree hedges) peuvent se trouver en différents endroits dans le paysage agricole et remplir différents rôles tout en assurant une ou plusieurs productions.

Parmi les autres rôles des haies on trouve la fixation du sol (par exemple pour la formation de terrasses) et la lutte contre l'érosion, comme dans le cas des haies en courbes de niveau (soil conservation hedges ou contour hedges). Dans certains cas on peut planter des haies d'arbres pour suppléer à la diette d'animaux domestiques (protein banks). La figure 11 montre la formation de terrasses naturelles au moyen de haies d'arbres en courbes de niveau.

- Rideau-abri (shelterbelt) est un terme général qui désigne toute haie d'arbres qui assure un rôle de protection dans le paysage rural, ce rôle étant le plus souvent combiné aux divers rôles classiques de production de

l'arbre. La protection des cultures contre le vent a été citée plus haut, on peut aussi citer la conservation de l'humidité du sol et l'amélioration de l'irrigation, la protection des habitations, des animaux sauvages ou d'autres valeurs écologiques, ainsi que l'embellissement du paysage.

Caractéristiques structurales des technologies agroforestières en disposition linéaire

- Présence: - technologie agrosylviculaire le plus souvent mais parfois sylvopastorale si la production arborée est du fourrage.
- Disposition: - ordonnée (en alignement)
- clairsemée (mais l'écartement sur la ligne peut être dense)
- souvent monostrate mais certaines haies brise-vent à plusieurs espèces peuvent être pluristrates
- simultanée.

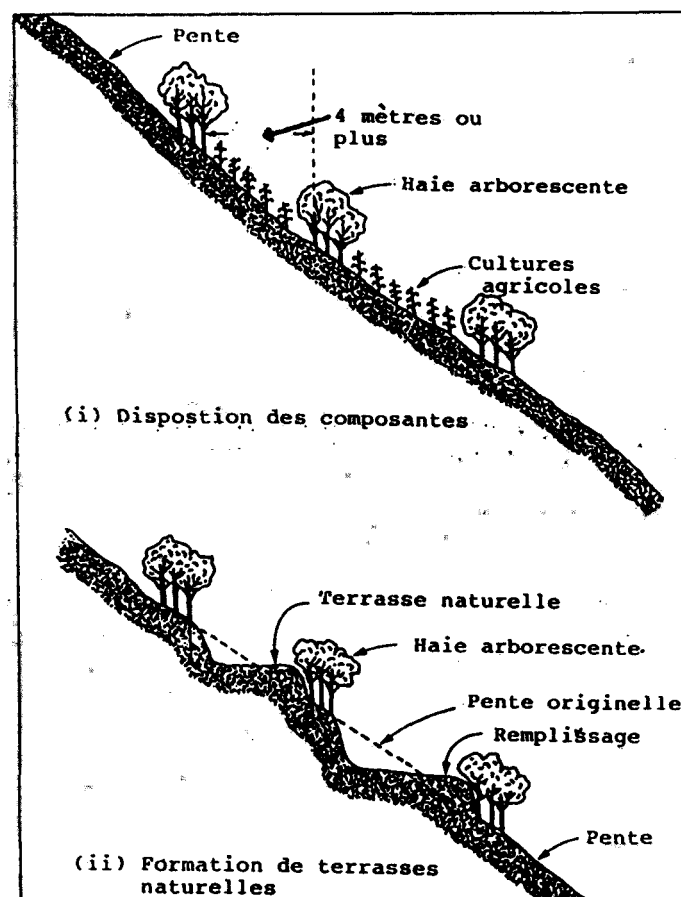


Fig 11 Formation de terrasses naturelles par plantations de haies arborescentes en courbes de niveau (D'après Nair, 1984)

La figure 13 montre un profil de couloirs et ses deux haies sur pente, avec l'indication de certaines interactions entre arbres et cultures, ainsi que certains rôles de service des arbres. Dans le cas des parcelles en pente, il est fréquent (et recommandé) que les haies suivent les courbes de niveau.

L'écartement entre les haies peut varier selon les régions et les espèces utilisées; dans le cas du maïs, on trouve généralement 3 à 5 rangées de maïs entre 2 haies d'arbres. La hauteur et la largeur des haies varient également, en fonction de pratiques de taille destinées à rabattre les arbres pendant la saison de croissance des cultures, de manière à donner plus de lumière à ces dernières.

Au sens strict du terme, la culture en couloirs ne se définit pas uniquement sur des critères structuraux, mais aussi sur des critères fonctionnels, à savoir que la biomasse récoltée sur les haies doit être utilisée pour fertiliser le sol dans les allées. On connaît des cas où ce n'est pas le cas et où, bien que la structure haies / allées soit présente, les émondages des haies sont destinés à d'autres usages, comme le bois ou le fourrage. Il ne s'agit pas alors de culture en couloirs *sensu stricto*. Lorsque les émondages sont destinés à l'alimentation animale, ou si des animaux pâturent dans les allées, on parle de culture en couloirs à composante animale (ou agriculture en couloirs: alley farming).

Si les haies sont destinées à produire du bois ou autre chose, mais pas de la biomasse fertilisante, on parlera plutôt de haies ligneuses dans les parcelles agricoles. Les cas de lignes boisées constituées de grands arbres pour la production de perches, c'est à dire d'arbres qui se développent nettement au niveau des cultures, appartiennent plutôt à la catégorie des cultures sous couvert arboré.

La **culture en couloirs en rotation** est un cas particulier dans lequel, après quelques saisons de culture normale en haies intercalées, on laisse la canopée des arbres recouvrir complètement la parcelle, faisant ainsi une espèce de jachère améliorée. Après un certain temps, les arbres sont taillés pour faire place à nouveau à une culture normale en haies intercalées. Une telle disposition, qui est censée combiner les effets spatiaux et temporels de l'amélioration du sol par les arbres, est schématisée sur la figure 14

Caractéristiques structurales de la culture en couloirs

Présence: - technologie agrosylviculaire, éventuellement agrosylvopastorale si, dans le cas de la culture en couloirs à composante animale, les animaux viennent paître sur la parcelle.

- Disposition: - ordonnée
- dense
 - monostrate
 - simultanée, mais devenant simultanée / interpolée dans le cas de la culture en couloirs en rotation.

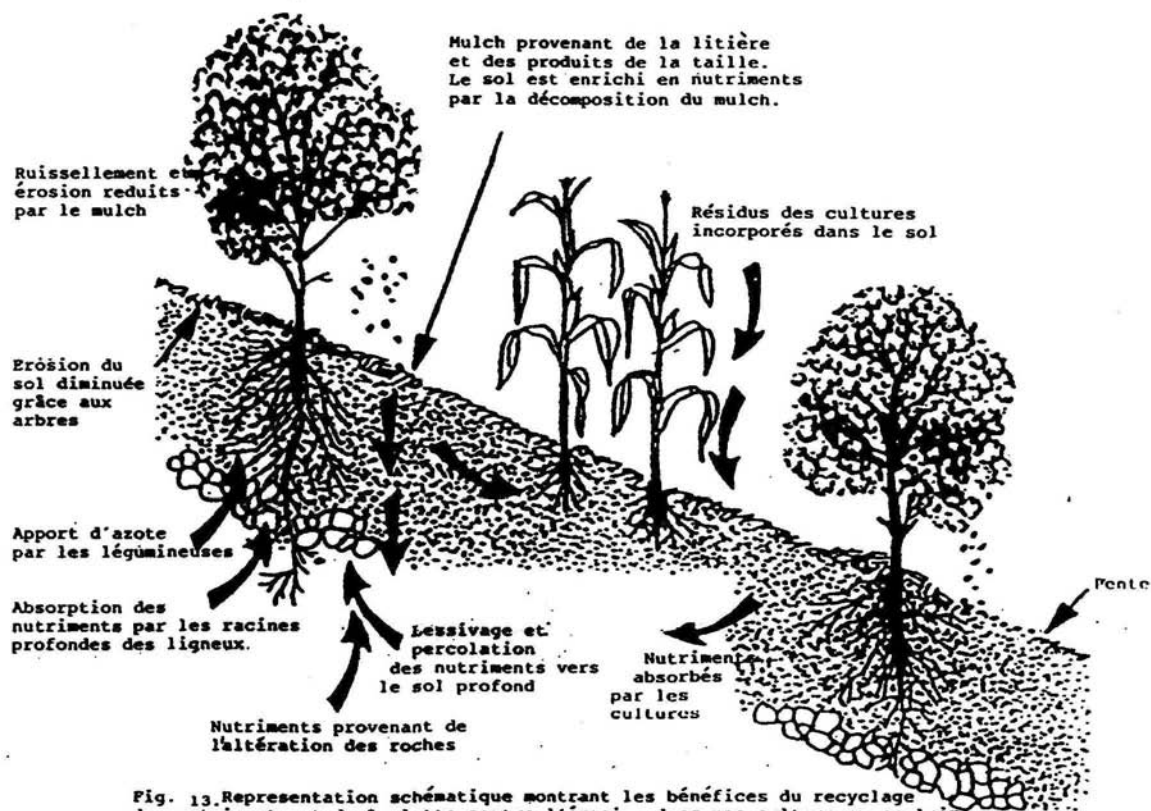


Fig. 13. Représentation schématique montrant les bénéfices du recyclage des nutriments et de la lutte contre l'érosion dans une culture en couloirs (D'après Kang et al., 1986).

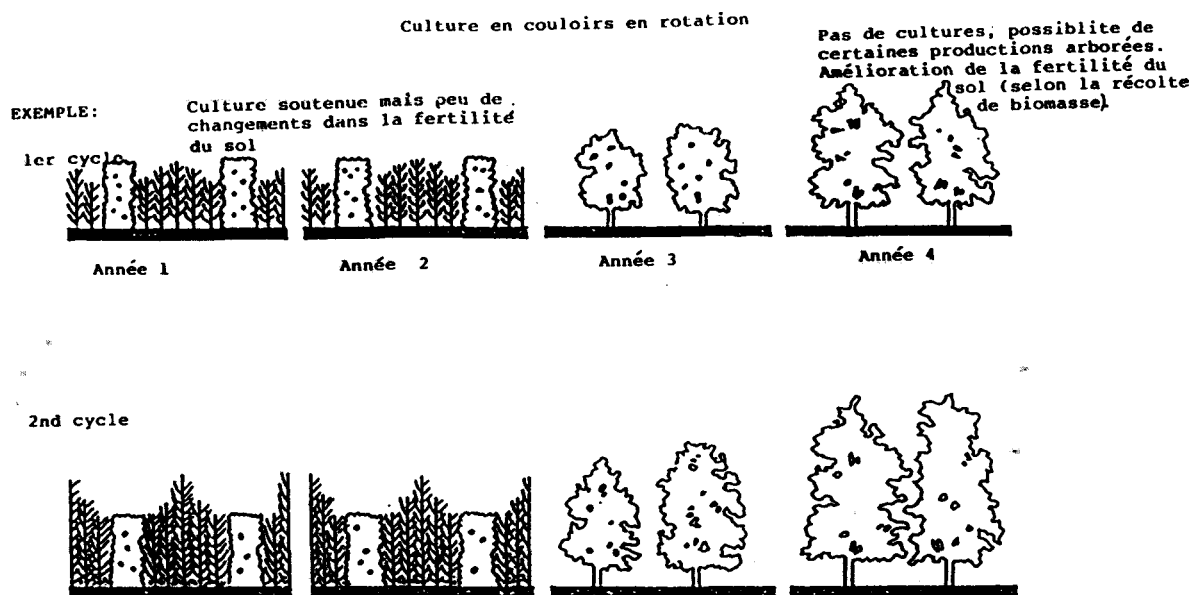


Fig. 14. Représentation schématique de deux cycles de cultures couloirs en rotation. (D'après Huxley, 1986).

11.6 Technologies agroforestières séquentielles

Cette catégorie regroupe les technologies agroforestières dans lesquelles certaines phases temporelles sont constituées d'arbres uniquement, les autres phases étant constituées par les autres composantes agroforestières (cultures, animaux) ou par une association entre les arbres et ces autres composantes. Il peut s'agir de rotations strictes dans lesquelles les composantes se succèdent, ou de disposition chevauchante, où les composantes se recouvrent partiellement dans le temps,

L'agriculture itinérante (shifting ou swidden cultivation), ou agriculture sur brûlis (slash and burn agriculture), pratiquée dans de nombreux pays tropicaux, est un exemple d'agroforesterie en rotation. Cette technologie est pratiquée dans les pays de forêts par des populations qui défrichent et brûlent des parcelles de forêt naturelle pour y pratiquer des cultures saisonnières, par exemple le riz pluvial en Asie du Sud Est. Les premières saisons de culture sont généralement très bonnes parce que les plantes profitent du sol forestier résiduel, riche en nutriments. Ce sol est néanmoins violemment soumis à l'érosion dès qu'il est à nu et sa fertilité décline par ailleurs très vite, de sorte que dès après trois à quatre saisons de culture, il est plus rentable pour le paysan d'abandonner sa parcelle et

d'aller plus loin en défricher une autre. D'où le nom d'agriculture itinérante.

Dans la parcelle abandonnée, devenue jachère, la forêt se reconstitue. Cette reconstitution passe par un stade de forêt secondaire, moins dense et diversifiée que la forêt primaire originelle. En zone de forêt tropicale humide, ce n'est qu'après plusieurs dizaines, voire centaines, d'années que la forêt primaire sera reconstituée.

Lorsque la pression de population est faible, l'agriculture itinérante est en équilibre avec le milieu naturel. Lorsque la densité de population est élevée, les zones à défricher deviennent rares ou lointaines et on observe une réduction du temps de rotation, des parcelles où la forêt n'est que partiellement reconstituée étant défrichées à nouveau. La fertilité du sol n'est pas rétablie sur ces parcelles et après plusieurs rotations, ou une trop longue période de cultures, ou parce que trop de parcelles sont simultanément dans cet état dans une même zone, la forêt s'y reconstituera de plus en plus mal, avec un risque de savanisation. On observe le même phénomène lorsque les agriculteurs itinérants suivent les fronts d'exploitation forestière et ont ainsi accès à de nombreuses parcelles partiellement défrichées et au sol déjà appauvri et malmené.

La figure 15 indique ce qui se passe lorsque la pression de population s'intensifie dans un contexte d'agriculture itinérante. Dans le premier cas la végétation a le temps de se reconstituer avant qu'une zone soit mise en culture pour la deuxième fois; dans le deuxième cas, la végétation ne se renouvelle pas et le front d'agriculture itinérante avance vers la forêt primaire tandis que demeure en arrière une zone appauvrie où la culture n'est plus possible.

On peut discuter du fait que l'agriculture itinérante soit ou ne soit pas de l'agroforesterie. En effet, les arbres recolonisent la parcelle abandonnée spontanément, et il n'y a aucune action délibérée du paysan visant à ceci. L'interaction entre arbres et cultures est néanmoins claire puisque c'est sur un sol reconstitué par la jachère arborée que la culture peut à nouveau se faire. Certains auteurs ne considèrent donc l'agriculture itinérante comme de l'agroforesterie que lorsqu'il y a une action délibérée du paysan pour introduire ou favoriser certains arbres dans la jachère, comme il est décrit ci-dessous, où lorsque certains arbres sont volontairement laissés sur la parcelle au moment de l'abattis.

Un moyen d'amélioration de l'agriculture itinérante est la jachère améliorée (improved fallow). Dans ce cas, la parcelle n'est pas abandonnée après les quelques saisons de culture, mais plantée de ligneux utiles. On peut par exemple ensemercer la jachère d'arbres fixateurs d'azote, qui rétabliront un sol de bonne qualité plus vite que les espèces spontanées. On peut aussi planter des arbres pour différentes productions, faisant ainsi de

la jachere une phase qui non seulement retabli la fertilité du sol mais est également une phase de rapport. A Sumatra, par exemple, certaines populations plantent des arbres source de nourriture, ainsi que des Heveas dans leurs jacheres.

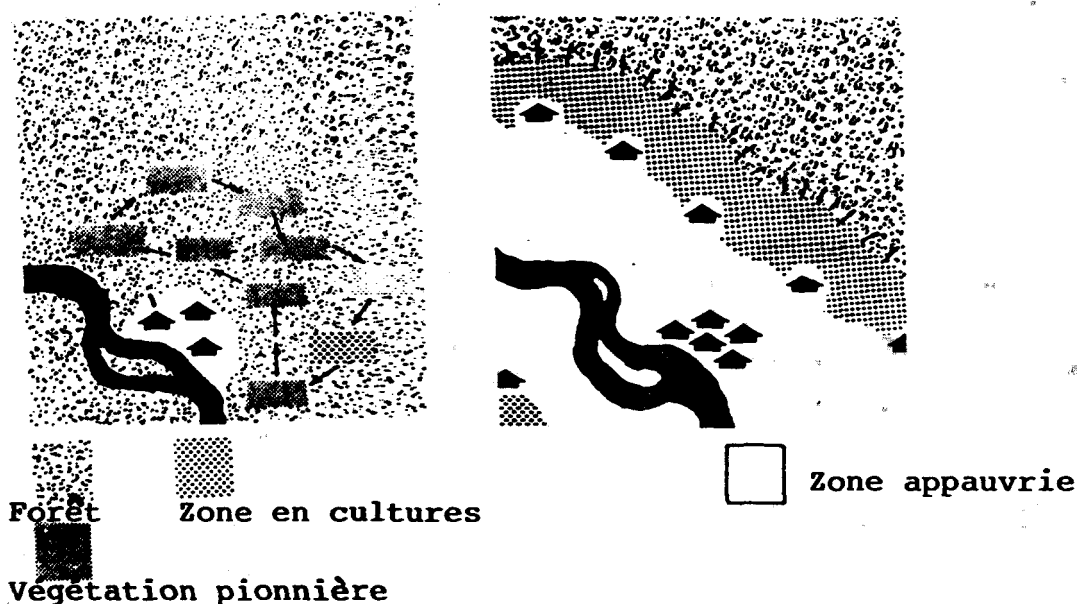


Fig. 15. Agriculture itinérante et pression démographique. A gauche: rotation normale pendant laquelle la végétation a le temps de se régénérer. A droite: sous une pression démographique trop intense, le nombre des brûlis devient élevé et il se forme un front d'agriculture itinérante qui avance vers la forêt et laisse derrière lui une zone appauvrie. (D'après Rijksen, 1978.in Jacobs, 1981).

C'est ce que font aussi certaines, populations de Bornéo, qui plantent du rotin dans la parcelle de culture lors de la dernière saison rizicole. Le rotin, une liane très agressive, prendra pour support les arbres qui germent spontanément dans la jachère et est un produit de haut rapport, récoltable après huit à dix ans. Les jachères améliorées peuvent aussi être utilisées à des fins d'élevage.

La jachère améliorée peut parfois s'intégrer à un cycle de plantation d'agroforêts. Certaines agroforêts de Sumatra, par exemple, ont démarré comme une jachère plantée faisant suite à quelques saisons de cultures, et

seront elles-mêmes défrichées après un certain nombre d'années, pour à nouveau laisser la place à des cultures ou à une autre agroforêt.

Un autre cas intéressant d'agroforesterie séquentielle est la technologie Taungya. Dans ce type d'agroforesterie, qui a ses origines en Birmanie, mais est connu dans un grand nombre de pays, le service forestier propose aux paysans d'utiliser des parcelles forestières pour cultiver des plantes saisonnières en association avec les plants d'arbres, pendant les premières années d'une plantation. En échange de la terre dont il peut disposer gratuitement, le paysan s'engage à entretenir les jeunes arbres. Lorsque les arbres sont devenus assez grands pour recouvrir les cultures, le service forestier reprend possession de la parcelle.

La technologie Taungya a eu ses heures de gloire 11 y a quelques décennies dans plusieurs pays, notamment en Asie du Sud Est pour les plantations de Teck. Elle a toujours ses avocats de nos jours mais semble moins populaire, une des critiques à son égard étant qu'elle met le paysan dans une situation paradoxale où mieux entretient-t-11 les arbres, plus tôt ceux-ci recouvriront ses cultures.

Un équivalent structural de la méthode Taungya, mais en dehors du cadre administratif forestier, peut être pratiqué par tout paysan désirant planter des arbres. Pendant les stades jeunes du développement des arbres, avant que leur canopée soit recouvrante et ait un effet d'ombre, il est toujours possible d'intercaler des plantes saisonnières entre les arbres. Dans la région d'Embu, au Kenya, il n'est pas rare de voir par exemple des parcelles caféières en cours d'établissement où les Jeunes caféiers sont associés à des patates douces et du manioc.

Caractéristiques structurales des technologies agroforestières séquentielles ..

Présence: - Technologie agrosylviculturale le plus souvent, agrosylvopastorale lorsqu'il y a de l'élevage dans la jachère.

Disposition: - en mélange pour la majorité des jachères, mais certaines jachères améliorées peuvent être ordonnées, de même que la technologie Taungya

- dense

- pluristrate, mais certaines jachères simples ou la technologie Taungya peuvent demeurer monostrates

- séquentielle: séparée ou chevauchante; concomitante dans le cas de la technologie Taungya.

11.7 Autres technologies

Cette dernière catégorie comprend différentes technologies dont les structures sont différentes mais qui sont regroupées ici en raison de leur importance moindre dans le monde de l'agroforesterie ou de caractéristiques très spécifiques.

11.7.1 Aquaforesterie

L'aquaforesterie est l'élevage d'animaux aquatiques en association avec des arbres.

L'élevage de poissons, crevettes ou huîtres en association avec des ligneux est connu dans le cas de la mangrove, dans certaines régions d'Asie du Sud Est par exemple. Il s'agit bien d'une association typiquement agroforestière puisque les animaux élevés sont des espèces strictement adaptées à la mangrove et qui donc dépendent des arbres pour leur survie. Le pisciculteur doit entretenir son élevage à la fois du point de vue des poissons (ou autres animaux) et des arbres.

Les étangs de pisciculture, ou bassins à poissons, sont connus dans différents contextes agroforestiers et peuvent alors être considérés comme une des composantes de ces systèmes. Ils sont par exemple fréquemment présents dans les jardins-forêts d'Asie du Sud Est où-ils' font intégralement partie du cycle de la biomasse, au même titre que les autres animaux.

On connaît des exemples de bassins de pisciculture dans un grand [nombre.de](#) systèmes agraires et, dès lors que le poisson est nourri sur de la biomasse arborée, le système devient agroforestier comme il le deviendrait avec n'importe quel autre type d'animal. A Siaya, dans l'Ouest du Kenya, des poissons élevés en bassin sont partiellement nourris avec du fourrage de *Leucaena* provenant de cultures en couloirs.

Caractéristiques structurales de la pisciculture en association avec des arbres

Présence: - Technologies généralement sylvopastorales à moins qu'une composante herbacée soit également cultivée avec les arbres pour l'alimentation du poisson, auquel

cas le système devient agrosylvopastoral; on trouve aussi l'appellation "agrosylvopiscicole" (agro-silvo-fishery).

Disposition: - en mélange

- clairsemée

- monostrate (certaines mangroves bien développées peuvent être pluristrates)

- simultanée.

11.7.2 Entomoforesterle

L'entomoforesterle est l'élevage d'insectes en association avec des arbres. Les deux cas les plus connus sont l'apiculture (élevage des abeilles) et la sériciculture (élevage des vers à soie).

Directement, lorsque les ruches sont installées dans des arbres, ou indirectement, parce que les abeilles butinent souvent des fleurs d'arbre, l'apiculture peut être une technologie agroforestière. L'apiculture existe dans la grande majorité des régions tropicales et tempérées et peut être une activité de grand rapport.

On peut faire pour l'apiculture la même remarque qui a été faite plus haut pour la pisciculture lorsque celle-ci est dépendante d'arbres: l'apiculteur a intérêt à prendre soin à la fois des arbres et des abeilles, ce qui rend une telle technologie typiquement agroforestière.

La sériciculture est une activité d'une très grande importance dans certaines régions; en Inde par exemple. On sait que le ver à soie dépend exclusivement du mûrier (*Bombyx mori*) pour se nourrir et c'est donc aussi un cas où l'arbre doit nécessairement faire partie du système cultural.

Caractéristiques structurales de l'entomoforesterle

Présence: - de même que "pastoral" s'appliquait mal aux poissons, il vaut mieux ne pas qualifier l'apiculture associée à des arbres ou la sériciculture de systèmes sylvopastoraux. Peut-être "sylvo-apiculture" est-il un terme qui convient. Quant à sériciculture, le terme se suffit à lui-même.

Disposition: - en mélange, mais on connaît des plantations de mûriers le long des routes ou en bordure des champs

- clairsemée

- mono ou pluristrate, selon le type de canopée butinée par les abeilles; les mûriers sont généralement en disposition monostrate.

- simultanée.

11.8 Le continuum agroforestier

La nomenclature agroforestière proposée dans ces pages n'est qu'une méthode parmi d'autres pour établir des catégories parmi les différentes combinaisons agroforestières possibles. Les catégories qui sont présentées constituent une sélection de points de référence fondée sur des critères structuraux et on peut trouver des cas qui se situent entre deux points de référence. Par ailleurs, et comme toute classification, cette classification ignore certains critères - dans ce cas, ceux qui ne sont pas de nature structurale - et par conséquent, une technologie agroforestière qui ne serait pas définie sur des critères structuraux pourrait appartenir à plus d'une des catégories proposées ci-dessus. Ces cas constituent un **continuum agroforestier** dont on a donné quelques exemples ci-dessous.

La culture en couloirs, technologie agroforestière en disposition linéaire, peut devenir une technologie séquentielle si on y inclut une phase en rotation. C'est le cas de la culture en couloirs en rotation, où on laisse pousser les haies jusqu'à ce qu'elles recouvrent l'ensemble de la parcelle, comme si on installait une jachère. Après quelques saisons, les haies sont rabattues à la dimension initiale.

Des haies arbustives en courbes de niveau peuvent être mises en place de manière répétitive ou être isolées. Dans le cas d'une série de haies rapprochées, et si la biomasse des ligneux est utilisée pour la gestion de la fertilité du sol, on a à faire à un cas de culture en couloirs sur pente.

Si des plantations industrielles de rente sont introduites dans un agroforêt, par exemple du café dans un jardin forêt, ce dernier devient un cas intermédiaire entre un agroforêt et un cas de cultures sous couvert arboré. On trouvera une situation similaire dans le cas d'une culture saisonnière tolérante à l'ombre constituant l'étage inférieur d'un système multistrate.

Les productions animales peuvent exister dans différentes technologies agroforestières, et la catégorie décrite dans le présent document - production animale sous couvert arboré - n'est qu'un cas parmi d'autres. Des animaux tels que les poissons, les petits ruminants ou la volaille sont fréquents dans les jardins forêts. Des animaux peuvent faire partie d'un système de culture en couloirs, auquel cas on parle d'agriculture en couloirs. On conçoit généralement une banque fourragère comme une parcelle complète, en bloc, plantée d'arbres fourragers; en réalité, on peut obtenir du fourrage de ligneux avec d'autres dispositions, comme par exemple des haies dans des parcelles agricoles, des plantations de lisière ou différentes composantes d'un jardin forêt ou d'une parcelle boisée.

La mise en place d'agroforêts peut se faire en passant par des stades appartenant à d'autres technologies agroforestières. Une simple parcelle boisée, par exemple, peut devenir une agroforêt sophistiquée si elle est enrichie avec différentes espèces de manière à lui donner un caractère polyvalent et multistrate. De la même manière, une jachère arborée améliorée peut aussi devenir une agroforêt ou un micro-boisement faire partie d'un cycle de jachère.

Les arbres plantés en lisière peuvent être disposés de manière multi-étagée; des cas de haies ligneuses à deux étages sont connues dans différents pays. On peut imaginer une plantation de lisière multistrate comme étant une espèce d'agroforêt linéaire!

Et ainsi de suite. Il y a probablement beaucoup d'autres cas intermédiaires entre les sept catégories agroforestières proposées dans le présent document. Ces dernières semblent cependant pouvoir constituer un cadre de référence utile parmi le grand nombre d'options' agroforestières possibles.

**

REFERENCES / BIBLIOGRAPHIE

- Agency for International Development 1987. *The transition to sustainable agriculture: an agenda for AID* Committee on agricultural sustainability for developing countries, Mimeo. 29 pp.
- Baumer, M. 1987. *Agroforesterie et desertification*. Wageningen. CTA / ICRAF, 260 pp.
- Baumer, M. and Wood, P. 1986. Agroforestry research and development: agroforestry practices for the solution of food, fodder and fuel shortages. In: L. W. Carlson and K. R. Shea, compilers. *Increasing productivity of multipurpose lands*. IUFRO research planning workshop for Africa Sahelian and North Sudanian zones, Nairobi, January 1986:1 IUFRO, 22-88.
- Brewbaker, J. L. 1987. *Leucaena*: a multipurpose tree genus for tropical agroforestry. in: H.A. Steppeler and P.K.R. Nair, eds. *Agroforestry, a decade of development* Nairobi: ICRAF, 289-323.
- Combe, J. and Budowski, G. 1979. Classification of agro-forestry techniques. in: G. De las Salas, ed. *Agro-forestry systems in Latin America*. Proceedings of a workshop, CATIE, March 1979. Turrialba, Costa Rica:CATIE, 17-47.
- Evans, P.T. and Rombold, J.S. 1985. Paraiso woodlots: an agroforestry alternative for the small farmer in Paraguay. *Agroforestry Systems*2: 199-214.
- Huxley, P.A. 1983. Comments on agroforestry classification with special reference to plant aspects, in: P.A. Huxley, ed. *Plant research and agroforestry*. Nairobi: ICRAF, 161-171.
- Huxley, P.A. 1984, editor. *Methodology for the exploration and assessment of multipurpose trees*. Section 6, Part 6C: Glossary of terms used in agroforestry. Mimeo: Nairobi: ICRAF, 129 pp.
- Huxley, P.A. 1986. *Rationalizing research on hedgerow intercropping: an overview*. ICRAF workingpaper 40, Nairobi, 151 pp.
- ICRAF, 1990. *Strategy to the year 2000*. Mimeo, Nairobi: ICRAF 78 pp.
- Jacobs, M. 1988. *The tropical rain forest, a first encounter*. Berlin: Springer Verlag, 295 pp.
- Kang, B.T. and Wilson, G.F. 1987. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology, in: H.A. Steppeler and P.K.R. Nair, eds. *Agroforestry, a decade of development*. Nairobi: ICRAF, 227-243.
- Lundgren, B. 1987. ICRAF's first ten years. *Agroforestry systems* 5: 197-217.
- Mary, F. 1986. *Agroforêts et sociétés, Etude comparée de trois systèmes agroforestiers indonésiens*. These de Docteur-Ingenieur Montpellier, France: ENSA, 2 vols., 517 pp.
- Michon, G. 1983. Village-forest-gardens in West Java, in: P.A. Huxley, ed. *Plant research and agroforestry*. Nairobi: ICRAF, 13-24.

- Miehe, S. 1986. *Acacia albida* and other multipurpose trees on the fur farmlands in the Jebel Marra highlands, Western Darfur, Sudan. *Agroforestry Systems* 4: 89-119.
- Nair, P.K. R. 1983. Agroforestry with coconuts and other tropical plantation crops, in: P.A. Huxley, ed. *Plant research and agroforestry*. Nairobi: ICRAF, 79-102.
- Nair, P.K. R. 1984. *Soil productivity aspects of agroforestry*. Science and practice of agroforestry 1. Nairobi: ICRAF, 85 pp.
- Nair, P.K. R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3: 97-128.
- Nair, P. K. R., editor, 1989. *Agroforestry Systems in the tropics*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 664 pp.
- Okafor, J. C. and Fernandes, E. C. M. 1987. Compound farms of southeastern Nigeria. *Agroforestry Systems* 5: 153-168
- Reid, R. and Wilson, G. 1985. *Agroforestry in Australia and New Zealand*. Box Hill, Victoria, Australia: Goddard and Dobson, 255 pp.
- Ruthenberg, H. 1980. *Farming Systems in the Tropics*, Third Edition. Oxford: Clarendon Press, 424 pp.
- Shaner, W.W., Philipp, P.F. and Schmehl, W.R. 1982. *Farming Systems Research and Development, Guidelines for developing countries*. Boulder, Colorado: Westview Press, 414 pp.
- Stewart, P. J. 1981. Forestry, agriculture and land husbandry. *Commonwealth Forestry Review* 60 (1): 29-34.
- Torres, F. 1983. Agroforestry: Concepts and practices, in: D. A. Hoekstra and F. M. Kuguru, eds. *Agroforestry Systems for small-scale farmers*. Proceedings of ICRAF/BAT workshop, Nairobi, September 1982. Nairobi: ICRAF, 27-42.
- Von Carlowitz, P. G. 1985. Some considerations regarding principles and practice of information collection on multipurpose trees. *Agroforestry Systems* 3: 181 -195.
- Von Carlowitz, P. G. 1986. Multipurpose tree yield data - their relevance to agroforestry research and development and the current state of knowledge. *Agroforestry systems* 4: 29.1-314.
- Von Carlowitz, P. G. 1989. Agroforestry technologies and fodder production - concepts and examples. *Agroforestry Systems* 9: 1 -16.
- Wiersum, K. F. 1981. Outline of the agroforestry concept, in: K. F. Wiersum, ed. *Viewpoints on agroforestry*. Syllabus of lecture series. Wageningen, The Netherlands: Agricultural University, "Hinkeloord", 1-23.
- Young, A. 1987. The potential of agroforestry for soil conservation and sustainable land use. in: J. Kozub, ed. *Seminar on land and water resource management. Collected papers*. Washington DC: Economic development institute of the world bank, 291-306.
- Young, A. 1988a. Agroforestry and its potential to contribute to land development in the tropics. *Journal of Biogeography* 15: 19-30.

- Young, A. 1988b. Agroforestry in the control of soil erosion by water. *Agroforestry Abstracts* 1(2/3): 39-48.
- Young, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. Science and practice of agroforestry, 4. Wallingford, UK: CAB International and Nairobi: ICRAF, 276pp.