

DÉGRADATION ET GESTION DES SOLS

Alain RUELLAN

QUELQUES RAPPELS

Le sol est une ressource renouvelable

Il se fait à partir de la roche sous-jacente (le granite, le calcaire, le basalte, le grès, le schiste...) : cette « roche-mère » s'altère, se transforme sous l'effet des actions conjuguées de la vie animale et végétale, de l'eau, de l'air.

La qualité du produit, c'est-à-dire la richesse, la fertilité, la potentialité du sol par rapport à la vie, sont le résultat de la richesse des roches, de l'agressivité des climats (humidité, température) qui appauvrissent plus ou moins vite les sols, mais aussi des érosions naturelles qui régénèrent, rajeunissent en permanence les sols appauvris par la vieillesse (il s'agit là de l'effet positif des érosions).

Le sol et la couverture pédologique se modifient en permanence

Au gré des saisons annuelles, le sol change d'aspect et de fonctionnement et, d'année en année, les sols naissent, puis mûrissent, c'est-à-dire s'enrichissent, puis vieillissent, c'est-à-dire s'appauvrissent.

De par leurs activités, les sociétés humaines influencent fortement ces dynamiques : interventions directes, par exemple de l'agriculteur qui défriche et cultive ; mais aussi, interventions indirectes par le canal des modifications climatiques, par le canal des modifications de la composition de l'atmosphère et de leurs conséquences sur les activités biologiques.

Pour les sociétés humaines, le sol est source de vie.

Par l'intermédiaire des plantes, des animaux, de l'eau, le sol nourrit les hommes : leur santé en dépend.

Et pourtant, constat étonnant, le sol n'est pas, ou est fort mal connu des hommes, y compris de ceux qui l'utilisent directement.

Partout dans le monde, chacun sait, très jeune, reconnaître, décrire, comprendre une plante ou un animal ; mais rares sont ceux qui savent en faire autant pour un sol.

Ainsi s'explique, en partie, la dégradation accélérée des sols par l'homme : les sociétés humaines ont déjà bien du mal à ne pas détruire les milieux et les ressources qu'elles connaissent ; alors, quand il s'agit de protéger une ressource inconnue... !

Cette situation est d'autant plus paradoxale que la découverte des sols, la compréhension de leurs fonctionnements et de leurs fertilités, n'est pas chose difficile. La seule difficulté, en fait, est d'ordre profondément culturel ; elle est de l'ordre du tabou.

En effet, pour connaître et comprendre le sol, il faut l'ouvrir, le creuser, y faire des trous profonds (1 à 2 mètres), descendre dans ces trous, y regarder avec soin les couleurs, les mottes, les porosités... comme on regarde avec soin les feuilles, les fleurs et les fruits d'une plante, les yeux, la bouche, les pattes, le sexe d'un animal.

Or faire des trous dans le sol, cela sent le sacrilège et la mort... !

Ce verrou culturel, présent dans toutes les sociétés, fait que l'approche visuelle, morphologique, naturaliste du sol, de ses propriétés, de ses potentialités, n'est que

rarement enseignée. La relation intelligente de l'homme avec son sol en souffre considérablement, le sol n'étant vu par l'homme que par sa surface et au travers d'analyses chimiques faites sur des échantillons prélevés à l'aveuglette à l'aide de sondes.

LES FONCTIONS DU SOL

Par rapport à la vie en général et, plus particulièrement, par rapport aux besoins et à la santé des hommes, la couverture pédologique assume quatre groupes de fonctions essentielles :

- des fonctions biologiques ;
- des fonctions alimentaires ;
- des fonctions d'échanges et de filtres ;
- des fonctions de matériaux et de supports.

Les fonctions biologiques

Le sol abrite, partiellement ou complètement, de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques passent par le sol, incluent le sol qui est donc partie prenante de nombreux écosystèmes.

On peut dire que la diversité biologique des espèces terrestres est étroitement liée à la pédosphère.

Par ailleurs, l'activité biologique du sol est essentielle à sa construction, à son fonctionnement, à sa fertilité (agrégation, porosité, disponibilité des éléments nutritifs...).

Le sol n'existe pas sans activités biologiques abondantes et diversifiées.

Les fonctions alimentaires

Le sol produit, contient, tous les éléments nécessaires à la vie (calcium, potassium..., fer... azote, gaz carbonique... eau, air) ; il accumule, puis met à la disposition des plantes et des animaux, la majeure partie de ces éléments, y compris l'air et l'eau.

Le sol joue, en somme, le rôle de garde-manger qui, selon les cas, est plus ou moins grand et plus ou moins rempli ; de même, il retient l'eau qu'il rend aux plantes en fonction de leurs besoins.

Au total, une grande partie de ce que les plantes mangent, boivent, respirent, vient du sol ; et pas seulement des 10 ou 20 cm supérieurs du sol : les plantes utilisent, directement ou indirectement, la totalité de l'épaisseur du sol, jusqu'à plusieurs mètres de profondeur.

L'homme, qui se nourrit des plantes et des animaux, est donc bien totalement dépendant des potentialités des sols.

Les fonctions d'échanges et de filtres

Le sol est un milieu poreux ; il est en permanence traversé par des flux hydriques et gazeux, flux qui échangent leurs composants minéraux et organiques avec ceux du sol.

L'eau des puits, des sources, des rivières, a préalablement traversé le sol ; la porosité du sol en influence l'alimentation.

Par ailleurs, le sol est un filtre, un système épurateur : l'eau, en le traversant, se transforme ; la qualité chimique et biologique des eaux dépend des propriétés des sols.

Au total, l'hydrologie, la chimie, la biologie des eaux, celles des nappes, des sources, des rivières, dépendent des constituants et des systèmes poreux de la couverture pédologique.

De même, la pédosphère est en échange constant avec l'atmosphère.

A ces trois groupes de fonctions vitales, s'ajoutent les rôles matériaux et supports que jouent les sols.

Le sol est souvent matériau de construction (sable, argile, cuirasse ferrugineuse, croûte calcaire). Il est à la fois support et matériau de bâtiments, de routes, de barrages, de canaux..., de poteries.

Beaucoup de minerais viennent du sol (et non des roches) : bauxite (aluminium), fer, or.. ; ces minerais sont présents, en faible quantité, dans les roches : l'altération fait qu'il se concentrent dans les sols.

LES DÉGRADATIONS DES SOLS

Le sol est donc essentiel aux hommes, les usages qu'ils en font pouvant être d'ordre agricole, forestier, industriel, urbain, mais aussi d'ordre écologique. Il n'y a pas de développement des sociétés sans utilisation des sols.

Ceci dit, tout est question d'équilibre, entre les capacités fonctionnelles et de renouvellement des sols et la pression anthropique : l'avenir est à l'équilibre entre les potentialités du sol et la pression des activités humaines et cet équilibre n'a de chance d'être respecté que si l'homme apprend à connaître le sol.

Or, à travers le monde, les exemples de sols gravement modifiés, gravement blessés, suite à leur mise en valeur, sont trop nombreux : érosion des sols ; tassement superficiel ; salinisation des sols irrigués ; appauvrissement en matière organique.

En effet, le développement des activités humaines influence de plus en plus fortement, et partout dans le monde, les fonctionnements et les propriétés des sols. En retour, ces modifications anthropiques de la pédosphère influencent les autres sphères avec lesquelles elle est interpénétrée : lithosphère, hydrosphère, atmosphère, biosphère.

La couverture pédologique occupe donc une place centrale, charnière, par rapport à l'ensemble des changements locaux, régionaux, globaux que connaît la Terre.

Selon les cas, les modifications anthropiques des dynamiques, des constituants, des structures, des propriétés des sols sont plus ou moins rapides, plus ou moins rapidement perceptibles (depuis l'échelle de la minute jusqu'à celle du siècle) : un tassement superficiel, par le passage d'un tracteur trop lourd sur un sol humide, est l'affaire d'une seconde ; la chute des activités biologiques et des teneurs en matières organiques d'un sol forestier qui vient d'être défriché pour être cultivé, est l'affaire de quelques mois ; la naissance d'un horizon subsuperficiel compacté par l'irrigation n'est perceptible qu'au bout de quelques années ; l'appauvrissement en éléments fins argileux des horizons superficiels d'un sol cultivé n'est perceptible qu'au bout d'une ou plusieurs décennies.

Par ailleurs, modification des sols ne signifie pas toujours dégradation. Dans ses relations avec les sols, l'homme n'a pas fait que dégrader. Certaines modifications, provoquées par l'homme, influencent positivement les fonctions des sols par rapport aux besoins des sociétés humaines... : la construction de terrasses ; l'épierreage ; l'irrigation et le drainage ; l'épandage de fumier ; la fabrication et l'utilisation de composts... sont autant de démarches et de techniques que les sociétés humaines ont inventé pour survivre dans des régions où les sols étaient une ressource rare ou pauvre.

Traditionnellement, les sociétés agraires savent qu'il n'y a fertilité des sols que s'ils sont profonds, bien drainés, bien structurés, riches en matière organique, capables de stocker l'eau et les éléments nutritifs. Elles ont souvent su travailler dans ce sens : voir, par exemple, les paysages aménagés des Iles Canaries où on recouvre les sols d'une mince couche de graviers, de façon à les protéger de l'évaporation et de la destructuration ; voir aussi les sols plaggen du Nord-Ouest de l'Europe, sols organiques construits au cours des siècles par apports intensifs de matières organiques en partie prélevées sous les forêts ;

voir encore les sols enrichis en matières organiques des oasis, voir les rizières aménagées dans certaines régions montagneuses de l'Asie ; etc.

L'agriculture traditionnelle, moderne mais enracinée dans l'histoire, c'est à dire celle qui a su se perpétuer en permettant le développement des sociétés, est une agriculture qui a su, soit conserver les sols et leur fertilité, soit les construire. Cette agriculture était, ou est, diversifiée en fonction de la variété des milieux.

L'agriculture dite moderne, qui prétend rompre avec l'histoire, veut procéder de manière identique à travers le monde entier, prétendant faire abstraction des diversités des milieux et en particulier des diversités des sols : elle ramène le sol à l'étroite perception du matériau, qu'il n'est pas ; cette agriculture fragilise et détruit les sols, marginalise et expulse les agriculteurs : c'est l'histoire récente de la France.

Aujourd'hui, en Europe, ceux qui veulent rester agriculteurs savent qu'ils ne réussiront qu'en reprenant la voie de la diversification de la production en fonction de la diversité des milieux ; ils savent qu'il doivent reconstruire la fertilité morphologique et biologique de leurs sols : pour cela ils doivent réapprendre à découvrir leurs sols.

Il y a dégradation des sols quand leurs fonctions, vis à vis des besoins, vis à vis de la santé des hommes, vis-à-vis, d'une façon plus générale, de la vie animale et végétale, sont atteintes.

Le sol est une ressource renouvelable : le sol se constitue, en permanence, à partir de la roche ; s'il n'y a pas d'érosion de la surface du sol, la couverture pédologique s'épaissit, lentement mais sûrement (selon les cas, de l'échelle de la décennie à celle du millénaire) ; par ailleurs, les propriétés des sols utilisées par les besoins des hommes ont la capacité de se renouveler, naturellement ou avec l'aide des hommes. Il y a dégradation quand l'érosion va plus vite que la formation du sol à partir de la roche (le sol perd ses couches superficielles les plus fertiles et s'amincit) ou quand les propriétés biologiques et physico-chimiques des sols, utilisées par les besoins des hommes, n'ont plus le temps de se renouveler naturellement ou ne sont pas renouvelées artificiellement par l'homme : les sols s'épuisent.

Les principales manifestations de la dégradation des sols, qui peuvent se produire à diverses profondeurs et pas seulement dans les premiers centimètres superficiels, sont de deux ordres :

- celles qui concernent, actuellement, tous les sols directement utilisés par l'homme : il s'agit, d'une part, de l'appauvrissement biologique et de la diminution des taux de matière organique, d'autre part, du tassement des sols ;
- celles plus localisées, qui ne concernent, pour l'instant, que des surfaces relativement limitées : hydromorphie (excès d'eau), salinisation et alcalinisation, acidification, appauvrissement en particules fines et en éléments nutritifs, érosion, pollution (avec ses conséquences sur la qualité des eaux et des produits agricoles), disparition des surfaces de sol pour des besoins urbains, industriels, miniers.

L'appauvrissement de la diversité et de l'activité biologiques, et la diminution des taux de matière organique

Ces deux phénomènes atteignent pratiquement tous les sols cultivés du monde.

- L'appauvrissement de la diversité biologique (le nombre d'espèces diminue) et la diminution de l'activité biologique des sols, suite à leur défrichement, ainsi que la baisse des taux de matière organique dans les sols, sont inéluctables : on ne peut les empêcher, les systèmes cultivés étant biologiquement beaucoup moins diversifiés que les systèmes naturels et étant prédateurs. Mais on peut apprendre, ou réapprendre, à maintenir dans les sols (par des apports de fumiers et de composts, par des enfouissements d'engrais verts, c'est à dire de cultures que l'on ne récolte pas, par des rotations de cultures associant des plantes d'enracinement différent...) le minimum

d'activité biologique et de matière organique indispensables à leur bon fonctionnement et à leur fertilité vis à vis des productions agricoles : une agrégation fine et arrondie, une porosité abondante et bien répartie, des matières organiques et des éléments minéraux régulièrement renouvelés, traduisent cette fertilité.

- La matière organique est également source d'une bonne agrégation, fine, poreuse, stable, et d'une bonne porosité indispensable à la circulation des eaux et des gaz, à la pénétration des racines, à l'activité biologique ; en outre, elle est source et réservoir de nombre d'éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium, calcium...).

Soulignons encore que l'appauvrissement en matière organique des sols, dû à la suppression de leur couverture végétale naturelle et à leur utilisation par l'homme, a déjà libéré dans l'atmosphère des volumes importants de CO₂, contribuant ainsi à l'effet de serre. En effet, la quantité de carbone stockée dans les sols, sous forme de matières organiques, est, en moyenne au niveau mondial, deux à trois fois plus grande que celle stockée dans la végétation, naturelle et cultivée ; en milieu équatorial, il y a autant de carbone dans le sol que dans la forêt qui le surmonte ; dans les milieux couverts de prairies et de cultures, il y a dix fois plus de carbone dans les sols que dans la végétation. Lors des opérations de mise en valeur des sols par l'homme, une grande partie de cette matière organique (jusqu'à 80 %) est très rapidement, en quelques années, détruite, le CO₂ étant libéré dans l'atmosphère.

Le maintien d'un minimum organique (du point de vue fertilité des sols, on estime ce minimum à 1 à 1,5 % de carbone dans les horizons superficiels) est donc un objectif important, trop souvent oublié, de l'agriculture moderne. Il est impensable, dans l'état actuel des connaissances techniques et des situations économiques, d'envisager de retrouver les taux de quelques % de carbone (jusqu'à 10 % et plus), répartis profondément, qui sont ceux de bien des sols sous végétation naturelle, forestière et steppique : mais 1 à 1,5 %, selon les régions, semble jouable (par les méthodes déjà citées ci-dessus : fumier, compost, engrais vert...) et suffisant (du point de vue agricole). De ce point de vue, la matière organique est, à l'échelle de l'homme, une ressource renouvelable.

Sur ce double problème, de l'activité biologique et de la matière organique des sols cultivés, l'effort scientifique nécessaire doit être amplifié, en particulier, en France où cette recherche a été négligée. Ceci est d'autant plus urgent que, d'une part, le restockage de la matière organique dans les sols est un bon moyen de lutte contre l'effet de serre et que, d'autre part, quelques recherches récentes démontrent l'importance des activités biologiques dans la genèse, non seulement des structures et des propriétés, mais aussi des constituants minéraux des sols : la vitesse d'altération des roches, donc d'approfondissement des sols, donc de renouvellement des sols, dépend de la qualité, du dynamisme de leurs activités biologiques.

Le tassement des sols, principalement dans leurs premiers centimètres superficiels

L'une des expressions les plus graves de la dégradation des sols est certainement la modification de leurs systèmes poreux, la baisse de leur porosité.

Tous les sols ont une porosité naturelle, conséquence de leurs constituants (argiles, limons, sables), de leurs agrégations (plus ou moins développées et stables), de leurs activités biologiques. Cette porosité gère tout le fonctionnement hydrologique des bassins versants ainsi que les fonctions nutritives et épuratrices des couvertures pédologiques.

Or on constate, partout dans le monde, que les sols utilisés par les sociétés humaines se tassent, perdent une partie de leur porosité, et ceci sur des épaisseurs qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de centimètres.

On comprend facilement que le tassement des sols soit un phénomène normal de l'après-défrichement des terres que l'on met en culture : la suppression de la végétation

naturelle provoque des baisses d'activités biologiques ; il s'en suit que les tubulures et les cavités, créées et recrées en permanence par les racines, par les vers de terre, par les fourmis... et autres termites se refont moins souvent ; de même les taux de matières organiques, qui facilitent la formation des agrégats, des mottes, diminuent fortement : les structures, donc les porosités s'effondrent.

Quand les systèmes de cultures sont bien conçus, adaptés aux sols : alternances de cultures, outils agricoles utilisés aux bonnes humidités, rotation correcte des animaux qui pâturent..., cette compaction peut rester acceptable sans conséquences trop graves ni sur les circuits hydologiques ni sur la pénétrabilité des sols par les racines.

Mais tel n'est pas le cas, n'est plus le cas aujourd'hui, dans la plupart des systèmes agraires, qu'ils soient intensifs ou non, où de nombreux facteurs contribuent à la compactation des sols qui devient de plus en plus grave :

- utilisation d'outils agricoles trop lourds (tracteurs, récolteuses, remorques...), mal réglés ou mal adaptés (charrues...), sur des sols trop humides ou trop secs ;
- animaux laissés trop longtemps sur des pâturages trop humides (tassement par piétinement) ;
- engrais ou amendements mal adaptés qui vont déstabiliser, faire éclater, les agrégats ;
- non utilisation des fumiers, composts, et autres engrais organiques ;
- irrigations mal conduites qui destructurent et tassent les sols par excès alterné d'humidité et de sécheresse ;
- abus de la monoculture ;
- sols laissés nus trop longtemps, soumis ainsi à la destructuration par la sécheresse et par impact des pluies ;

Comme les baisses des taux de matières organiques, le tassement des sols est un phénomène qui atteint ou menace tous les sols cultivés et pâturés du monde. Il peut conduire à l'abandon des terres (voir, par exemple, les abandons en zones sahéliennes ; ou en Amazonie après destruction de la forêt et pâturage extensif pendant quelques années...). Les mécanismes de tassement commencent à être scientifiquement assez bien connus, résultats de recherches entreprises depuis une trentaine d'années ; cependant, les résultats de ces recherches restent, pour l'instant, difficiles à prendre en compte par les agronomes et les agriculteurs qui ne font, généralement, pas beaucoup d'efforts pour regarder leurs sols de près.

Sauf s'il y a eu tassement des vides les plus fins, la compaction est réversible, en quelques années. Encore faut-il prendre conscience de l'importance de la porosité pour la fertilité des sols et de la gravité des dégradations actuelles : cette prise de conscience commence à se faire actuellement, tout doucement, principalement sous la pression des évidences économiques (baisse des rendements des cultures, en particulier sur les sols des régions tropicales et équatoriales, malgré les augmentations de doses d'engrais).

Il faut encore souligner que la mise en valeur agricole n'est pas la seule responsable des baisses de porosités des sols. Il faut citer aussi les utilisations non biologiques des sols.

Croissances des villes et des bidonvilles, des complexes industriels et commerciaux, des zones touristiques. Intensification des réseaux routiers, multiplication des aéroports. Constructions de barrages hydroélectriques. Intensification de l'exploitation des ressources minières superficielles.

Ce sont autant de surfaces tassées, bouchées, bétonnées.

Plusieurs dizaines de milliers d'hectares sont ainsi, chaque année, soustraits définitivement, sans espoir de retour, aux fonctions biologiques, alimentaires, d'échange et de filtre de la couverture pédologique.

Plusieurs dizaines de milliers d'hectares, ce n'est peut-être pas grand chose en soi ; sauf que, dans la majorité des cas, ce sont les sols les plus fertiles qui disparaissent, sous le

béton, ou sous la misère des urbanisations sauvages : les villes, en grandissant, ne sautent pas par-dessus les périphéries agricoles qui les ont nourries pendant des siècles ; elle les rongent, les font disparaître ; les routes sont plus faciles, plus « économiques » à construire en terrain plat : ce sont des terres fertiles ; les riches terrasses alluviales des vallées sont convoitées par les industriels qui recherchent la proximité de sources d'eau...

La porosité d'un sol, la stabilité, la solidité de cette porosité, sont l'expression de l'état de santé du sol.

- La porosité exprime la richesse biologique et organique du sol ; elle exprime l'accessibilité des éléments nutritifs présents dans le sol. Le tassement rend inutilisable par les plantes une bonne partie des éléments nutritifs du sol, y compris ceux apportés par l'homme, sous la forme d'engrais minéraux.
- C'est également de la porosité de la couverture pédologique que dépend le bon fonctionnement des circuits hydrologiques. Les tassements gênent les pénétrations verticales des eaux, donc l'alimentation des nappes phréatiques ; ils favorisent les circulations latérales, et superficielles : le circuit de l'eau est ainsi raccourci, ce qui la rend moins disponible pour les besoins des sociétés humaines. Ceci a encore deux autres conséquences graves :
 - . le sol joue beaucoup moins son rôle filtrant, épurateur des eaux ;
 - . les eaux pénétrant moins profondément dans les sols, il y a ralentissement de l'altération des roches, donc de la formation des sols.

L'érosion

Parmi les conséquences des appauvrissements biologiques, des baisses de taux de matière organique et des tassements, il y a le double développement de l'érosion des sols (entraînement latéral, par l'eau ou par le vent, de matériaux sol situés en surface : particules d'argiles, de limons, de sables) et de l'appauvrissement interne des sols en particules fines.

L'érosion a pour origine un double phénomène :

- la destruction des agrégats, par appauvrissement organique et biologique, libère les particules argileuses, limoneuses et sableuses, qui seront ainsi plus facilement entraînées latéralement, soit en surface par érosion hydrique ou éolienne, soit en profondeur (vers quelques centimètres ou dizaines de centimètres) par migration latérale des eaux (cette migration interne ne concerne que les particules les plus fines, argileuses) : ainsi naissent, à la surface des sols, des horizons appauvris, en argile et en éléments nutritifs, qui seront ensuite plus facilement érodés ;
- le tassement des horizons pédologiques facilite également, bien sûr, l'érosion, conséquence d'un ruissellement, superficiel ou sub-superficiel, d'une eau de pluie qui ne pénètre plus dans le sol. La plupart des érosions actuelles naissent ainsi.

L'érosion est un phénomène naturel, normal... et utile. C'est en effet grâce à un bon équilibre entre la formation du sol, à partir de la roche, et l'érosion, que de nombreux sols du monde ne s'épaississent pas trop : de ce fait, ils restent naturellement fertiles, car régulièrement alimentés à leur surface, par le biais des activités biologiques animales et végétales, à partir des éléments libérés en profondeur par altération des roches. Les sols trop épais, fréquents en régions tropicales, sont chimiquement pauvres, en partie à cause de leur épaisseur qui éloigne leur surface de l'alimentation en éléments minéraux à partir de l'altération en profondeur de leur roche-mère.

Ceci dit, quand l'érosion va trop vite, c'est à dire quand elle va plus vite que l'épaississement du sol et que la reconstitution régulière des horizons organiques et biologiques de surface, elle devient dangereuse ; c'est ce qui se passe dans de nombreuses régions du monde : voir les sols amincis de la Champagne et de l'Espagne (les charrues y ramènent à la surface du sol la roche blanche calcaire sous-jacente : le paysage est envahi

par les couleurs claires qui remplacent les couleurs brunes ou rouges ou noires des sols peu érodés); voir les ravines profondes qui entaillent les paysages d'Algérie, ou de Madagascar, ou de l'État brésilien de Sao Paulo, ou de la région de Delhi...; voir les ravines qui se développent dans les pays bocagers de l'Ouest de la France après le remembrement qui a eu pour conséquence de détruire haies et fossés qui protégeaient les sols contre l'érosion; etc.

Les données concernant l'érosion actuelle des sols sont nombreuses; elles manquent souvent de précision, mais elles sont malgré tout suffisamment claires pour causer l'inquiétude. Une donnée parmi d'autres: au niveau mondial, les quantités d'éléments nutritifs entraînés chaque année, avec la terre érodée, donc perdus pour la production agricole, ces quantités sont équivalentes à celles apportées par les engrais minéraux épandus chaque année; et ceci sans compter les énormes pertes de matière organique, les horizons régulièrement érodés étant toujours les plus riches en matières organiques. Une autre donnée (JUDSON, 1968): l'érosion pré-agricole des sols, au niveau mondial, serait de $9,3 \times 10^9$ tonnes par an; en 1968, l'érosion mondiale aurait été de 24×10^9 tonnes. D'après BROWN 1984, l'érosion mondiale aurait augmentée de 50 % en 18 ans; et si on tient compte de l'augmentation de la population mondiale, ceci voudrait dire que de 1968 à 1984 la perte de sol par tête d'habitant serait passée de 4,0 à 4,8 tonnes par an. BROWN estime le « réservoir sol » à $3,5 \times 10^{12}$ tonnes; sans compter la vitesse à laquelle ce réservoir se reconstitue, on en perdrait chaque année 0,7 %.

La lutte contre l'érosion est donc une priorité, encore mal prise en compte par de trop nombreuses sociétés, rurales et péri-urbaines. Les stratégies et les techniques de lutte contre l'érosion sont nombreuses et diverses (cultures en terrasses; labours et travaux agricoles selon les courbes de niveaux; plantations de lignes d'arbres; aménagement des rigoles naturelles d'écoulement des eaux; remembrements parcelaires en tenant compte de l'existence de bassins versants...), souvent bien imaginées... mais mal réalisées. Les drames sont particulièrement fréquents dans de nombreux pays des régions chaudes. Nous ne pouvons insister que sur un point: le sol est fait pour produire et pour nourrir; c'est à dire que la lutte contre l'érosion n'a pas de sens si elle se fait au détriment de la production, en particulier de la production agricole. La lutte contre l'érosion, la protection des sols, doivent être intégrées dans des stratégies de production et non de mise en réserve de surfaces de sols: les sols productifs doivent être protégés contre l'érosion, ce qui ne veut pas dire qu'on doit, sous prétexte de les protéger, empêcher les agriculteurs de les cultiver...

Bien d'autres dégradations, d'origine anthropique, atteignent les sols

Certaines dégradations existent depuis longtemps. Il s'agit, en particulier des phénomènes d'**hydromorphie** (excès d'eau), de **salinisation** (excès de sels solubles, tel le chlorure de sodium), d'**alcalinisation** (excès de sodium), qui se développent, en quelques années, dans les périmètres irrigués mal gérés (irrigations excessives; drainages non entretenus; besoins en eau des cultures mal calculés donc non respectés: on met trop ou pas assez d'eau). Actuellement, sur les 200 millions d'hectares irrigués du monde, 50 % seraient atteints par ces dégradations (sans compter les autres dégradations qui peuvent s'y surimposer); 10 millions d'hectares irrigués sont abandonnés chaque année.

Aujourd'hui, ce qui est inacceptable, c'est que ces phénomènes se poursuivent, voire s'amplifient, alors qu'ils sont parfaitement prévisibles et évitables; les sols atteints peuvent même être guéris: mais cela coûte très cher (voir les travaux en cours dans la vallée de l'Euphrate, en Syrie; dans divers périmètres irrigués de l'Algérie) et, de toutes façons, ne peut être réussi que si on apprend enfin à tenir compte de l'histoire et des comportements des sociétés concernées. L'irresponsabilité, des politiques et des ingénieurs, est, dans ce domaine comme dans bien d'autres, très grande et condamnable.

D'autres dégradations sont plus nouvelles, voire très nouvelles : ce sont toutes les conséquences de la **pollution**. Pollutions d'origine industrielle via l'atmosphère et les pluies ; pollutions d'origines industrielle, urbaine, agricole, via les épandages de déchets et les abus d'utilisation des engrais et des pesticides. Ces pollutions ont toutes sortes de conséquences :

- **acidification** des sols : fréquente dans les régions industrielles, elle a pour conséquence, rapidement perceptible (en quelques années ou dizaines d'années), un appauvrissement en éléments essentiels pour les plantes (calcium, magnésium, potassium...) accompagné, éventuellement, de la mobilisation de métaux lourds (qui pourront migrer et polluer les eaux phréatiques) et de modifications structurales (pertes de stabilité structurale) ; en Scandinavie, par exemple, en 30 ans, une acidification importante s'est développée, affectant non seulement les horizons superficiels des sols, mais aussi les horizons profonds ; cette acidité a provoqué l'apparition dans les sols de produits toxiques, en particulier l'aluminium qui provoque une baisse de la fertilité agricole des sols ; à ceci s'ajoutent des phénomènes à plus long terme de transformations biologiques et géochimiques : quand une couverture pédologique perd progressivement, en quelques décennies, une à deux unités pH, on peut imaginer que les conséquences à moyen terme seront importantes : modification des constituants, des structures, des dynamiques ;
- **accumulation dans les sols de métaux lourds, de pesticides, de matières organiques toxiques, d'hydrocarbures, d'éléments radioactifs...** : les conséquences de ces accumulations sur le comportement des écosystèmes et sur la santé des plantes, des animaux, des hommes, restent encore mal connues ; les recherches, dans ce domaine, se développent rapidement.

L'homme détruit ses sols.

Dans de nombreuses régions, il le fait encore par ignorance... ; parce qu'il faut bien survivre, on cultive n'importe comment. Dans d'autres régions, c'est la course à la production, associée à une ignorance voulue, qui détruit : l'utilisation excessive, inadaptée, de certains matériels agricoles lourds, de certains engrais, de pesticides, de certaines méthodes d'irrigation... se fait au détriment de la fertilité des sols et des milieux ; les sols produisent plus... mais sont de plus en plus malades ; les milieux produisent plus, mais sont de plus en plus pollués.

Tout ceci est fragile : l'appauvrissement biologique et structural des sols est partiellement masqué par des apports artificiels, chimiques et mécaniques ; mais beaucoup des irrégularités de la production d'un champ sont en fait liées à cela.

Les nécessités de la protection de l'environnement vont nous obliger à retrouver, progressivement, une agriculture moins artificielle, moins polluante ; mais cette agriculture n'existera que si elle peut s'appuyer sur des fonctions pédologiques naturelles, retrouvées. C'est, dans la plupart des cas, encore possible.

Cette agriculture sera moins « productive à l'hectare » ; mais il est déjà prouvé, dans certains cas, qu'elle sera économiquement plus rentable tout en étant plus respectueuse de l'environnement : qualité des produits, qualité des eaux, qualité de l'air... **qualité de la vie**.

L'ÉROSION

Jacques BOUGÈRE

LES CONTRAINTES NATURELLES EN MILIEU INSULAIRE TROPICAL

De fortes pentes sur les matériaux hétérogènes des îles volcaniques

Les pentes externes des deux volcans de La Réunion (Piton des Neiges, 3069 m - Piton de la Fournaise, 2633 m) ont un modelé convexe dont la pente générale moyenne est de 15-18 %. Localement, ce modelé peut être plus accentué à haute et moyenne altitude, plus atténué ou passant à des concavités à basse altitude, notamment sur la côte ouest. Dans les secteurs centraux de l'île (« cirques » et grandes vallées) les concavités dominent (BOUGÈRE, 1983) ; elles sont particulièrement spectaculaires et leur rajeunissement constant est entretenu, dans les matériaux hétérogènes et instables qui les sous-tendent (HAURIE, 1987 ; CHEVALLIER, 1979) par les écoulements abondants de pluies cycloniques.

En bordure des zones à convexités atténuées ou subhorizontales, près des grands « remparts » d'« îlets » ou de vallées très encaissées, un réseau de fissures d'appel au vide facilite les écroulements rocheux. Le déblaiement continu des dépôts de bas de pentes dissèque les versants en « badlands » que la végétation conquiert à grand peine, tout en étant incapable de les stabiliser.

Sur des coulées récentes de la Fournaise (BACHELERY, 1981) les pentes encore plus fortes (entre 20 et 30 %) sont plus homogènes, variées cependant par des émissions fissurales actuelles (BOUGÈRE, 1986b ; STIELTJES, 1986). Ces fortes pentes, ces modelés contrastés entraînent un drainage radial, mal hiérarchisé, à temps de réponse très bref (ROBERT, 1986), accentuant la rapidité de l'écoulement et l'efficacité du ruissellement générateur d'érosion lorsque le sol est préalablement dérangé.

L'Archipel des Comores présente aussi de fortes pentes à dominante convexe pour Moroni, sub-rectiligne pour Anjouan et Mohéli, franchement concave pour Mayotte, ceci en fonction de leur évolution chronologique.

Les modelés mahorais se réduisent à deux types principaux : crêtes et croupes, les premières au Nord et au Sud sur volcanisme ancien, les secondes sur volcanisme intermédiaire au centre ; ce volcanisme intermédiaire ayant été adouci par des émissions de cendres récentes (STIELTJES, 1988). Là aussi le drainage est radial : une succession de bassins-versants élémentaires au réseau hydrographique peu hiérarchisé s'organise autour de l'épine dorsale de l'île, constituée par les sommets. Les ruptures de pentes sont souvent marquées par des « padzas », arrachements d'érosion ou de glissements (LATRILLE, 1977, 1981), façonnés en « badlands ». Ce type d'évolution a conduit certains secteurs de Mayotte et d'Anjouan à une stérilité presque totale dont les superficies ne cessent de s'agrandir sous l'influence de divers facteurs (cf. infra).

Intensités et durées exceptionnelles des séquences pluvieuses

L'appartenance au domaine bioclimatique tropical confère à ces îles des caractères pluviométriques exagérés, renforcés par la présence d'un océan tiède (température moyenne annuelle entre 20 et 30°C). L'essentiel des processus d'ablation est dû à l'action conjointe des quantités d'eau précipitées et à leurs intensités ; souvent brèves, les valeurs de pluies efficaces pour l'érosion peuvent dépasser en quelques jours les moyennes annuelles des stations de mesure (Tableau I) ; cet exemple de Janvier 1980 avait été dépassé par Cilaos en 1952 (2 500 mm les 15 et 16 mars) où en cumulant les précipitations, nous obtenons 4 130 mm du 11 au 19 mars 1952 (Météorologie Nationale) ; à la station Commerson, il est tombé 6 527 mm en janvier 1980. En février 1993 des quantités équivalentes ont été relevées.

Tableau 1 : Précipitations moyennes et précipitations lors du cyclone Hyacinthe en 1980

Station	Altitude	Précipitations moyenne sur 20 ans	Précipitations du 16 au 27-01-1980
Le Port	11 m	660 mm	987 mm
La Possession	10 m	750 mm	1137 mm
Aurère	940 m	2047 mm	2978 mm
St-Gilles	5 m	558 mm	931 mm
Vue Belle	450 m	977 mm	1405 mm
Cilaos	1197 m	2294 mm	3936 mm

(DURET, 1982).

Ceci implique des intensités également fortes : en trente minutes les intensités relevées (Tableau II) sur les années précédentes montrent des valeurs élevées (Intensités maximales relevées par épisodes pluvieux en trente minutes). Sur nos stations (depuis 1982) nous avons pu constater une opposition entre le versant « au vent » et le versant « sous-le-vent » (Tableau III).

Tableau II : Intensités maximales en trente minutes

Station	Année	1 30'
St-Denis	1965	153 mm
Savannah	1961	91 mm
Aurère	1980	151 mm
Cilaos	1964	413 mm
Gillot	1955	121 mm
Menciol	1975	146 mm

(DURET, 1982)

Tableau III : Exemples d'intensités à La Réunion

Station	Situation	Année	Intensités 30'
Ste-Marie	« au-vent »	1983	198
Ste-Marie	« au-vent »		96
Trois-Bassins	« sous-le-vent »	1987	184
Trois-Bassins	« sous-le-vent »	1988	220

(A. GOPAL, 1992 ; J. BOUGERE, 1990).

Depuis l'installation des stations à Mayotte en 1989, les intensités relevées sont nettement inférieures (Tableau IV) probablement influencées par la nuance plus équatoriale de son climat, mettant l'archipel des Comores à l'écart des trajectoires cycloniques ; des références plus anciennes (RAUNET M, 1992) donnent des chiffres moins élevés.

Tableau IV : Intensités à Mayotte

Station	Date	Intensités 30'
Dzoomogné	1973	31
	1974	50
Coconi	1990	72
	1990	63
	1991	33
	1991	37

(BOUGERE, 1991 ; RAUNET, 1992).

Les pluies cycloniques ont rarement un caractère violent, la durée des précipitations prenant alors le relais des fortes intensités instantanées (3 semaines en janvier 1980 lors du cyclone Hyacinthe, la même durée en système dépressionnaire en février 1993) : les intensités sont inférieures à 35 mm en une heure (Tableau V).

Tableau V : Caractères des précipitations cycloniques à La Réunion - Stations Trois-Bassins

Cyclones	Date	Précipitation totale	l mm/h
Célestina	14-20/1/85	601 mm	16 mm
Gérémina	18-25/1/85	443 mm	17 mm
Clotilda	16-17/2/87	710 mm	32 mm

(BOUGERE, 1986a ; 1988).

Les conséquences des pluies cycloniques sont généralement plus spectaculaires : l'ensemble de l'île est concerné par le phénomène alors que les pluies sans grand système aérologique organisé (notamment en saison fraîche) ne concernent que des aires plus restreintes.

Mis en évidence par nos stations, le caractère orageux des pluies de début et de fin de saison humide (Fig. 1) déclenche, souvent en milieu de journée, des précipitations de quelques heures où les intensités dépassent 50 mm / h (Fig. 2) pendant trois jours de suite, comme en février 1988 : l'efficacité de ces événements est dévastatrice (cf. infra Tableau VII).

Les modifications de sociétés rurales en mutation rapide

A La Réunion, à la tendance amorcée au XX^e siècle (uniformisation des productions) (figure 3), succède une volonté de diversifier les productions tant pour échapper au risque de chute des cours que pour satisfaire les besoins alimentaires. L'exemple de la côte ouest est significatif. Le Plan d'Aménagement des Hauts de l'île, outre la mise en valeur et l'animation de groupes de petits agriculteurs favorise l'installation de familles sur des terres récupérées sur les friches anciennes (plus de vingt ans- après règlement des partages successoraux) ; ce plan a entrepris également, face aux fluctuations du cours de l'essence de géranium, la revalorisation des revenus par la production de produits maraîchers et d'élevage auxquels la consommation locale assure des débouchés. Cette politique ne présente pas que des facilités.

La diversification, mise en œuvre par une volonté politique, se fait surtout avec des jeunes, nouveaux venus souvent, à la pratique agricole. Il leur faut obtenir une production rentable rapide, pour assurer d'une part la subsistance de la cellule familiale nouvellement implantée et d'autre part avoir la possibilité de commencer à rembourser les prêts divers qui vont grever, des années durant, le budget de l'exploitation.

Ceci impose donc une disponibilité immédiate de l'espace cultivable impliquant des choix de préparation technique pas toujours en faveur de la protection des milieux naturels (cf. infra).

Si la nouvelle orientation de mise en valeur remplace une structure ancienne (pratique du colonat ayant abouti à une érosion généralisée des terres à géranium sur andosols) on peut espérer que, par une prise de conscience aujourd'hui sensible, grâce aux associations, les nécessités de conservation du sol ne seront pas oubliées. La leçon à retirer de la figure 3 ne doit pas être occultée non plus : c'est par une polyculture sans jachère que la côte ouest a été stérilisée par décapage superficiel.

A Mayotte les observations sont aussi inquiétantes. La culture sur brûlis pour la production du riz de montagne n'est plus itinérante : la jachère, encore de 2 - 3 ans en 1987 est inférieure à 2 ans actuellement ; certains échanges sont cultivés en permanence : d'un système de culture et d'élevage extensifs on est passé à un système de production en continu où la reconstitution du stock de matière organique, si important pour ces sols fragiles est pratiquement impossible, amorçant ainsi le processus d'érosion-stérilisation.

Une carte récente (RAUNET, 1992) montre l'extension des « padzas » depuis 1981 : ils ont doublé et la densité démographique semble accélérer les besoins de terre de production agricole ; sans atteindre les densités anjouanaïses (500 h/km²), la population mahoraise pourrait être de 528 h/km² cultivable en l'an 2000, (RAUNET, 1992). La superficie cultivable par ménage est passée de 2 ha en 1978 à 0,7 en 1991 (ibid. p. 48). Les problèmes démographiques concernent aussi l'érosion en zone construite qui concourt également à l'appauvrissement du milieu et à la dégradation des conditions de vie des lagons.

MESURES D'ÉROSION À LA RÉUNION

Dix années de mesure sont maintenant disponibles à partir de stations équipées de façon classique. Elles fournissent des enseignements sur les modalités d'érosion et sur les aspects particuliers qu'elle prend à La Réunion ; en même temps ces données permettent de déterminer les facteurs principaux de l'érosion et certains seuils critiques qui serviront pour l'aménagement.

Le dispositif de mesures

A partir du protocole classique de WISCHMEIER et SMITH (1960), des parcelles ont été installées en des sites variés : TROIS-BASSINS et NOTRE-DAME DE LA PAIX (côte ouest), BEAUMONT (côte est). Les parcelles sont limitées par des tôles de bordure et débouchent à l'aval sur des cuves recueillant l'eau de ruissellement et les sédiments qu'elle transporte (Planche 3, 1 et 2). Un autre dispositif d'études ponctuelles consiste en un simulateur de pluie construit selon le modèle ORSTOM (VALENTIN, 1980) (Planche 3, 3) ; ces expérimentations sont menées avec le CIRAD - RÉUNION et une aide du Conseil Général et Régional.

Les mesures sont effectuées avec une périodicité fixe et les résultats publiés dans des rapports régulièrement présentés ; les étudiants sont associés à ces travaux.

Les résultats des mesures

Résultats généraux

Les résultats fournis par ces dix années concernant surtout les sols andiques au-dessus de 900 m d'altitude : c'est dans le cadre du Plan d'Aménagement des Hauts de La Réunion (1976), que nous avons trouvé les financements nécessaires. Les trois sites équipés fournissent des informations sur les deux situations de versants réunionnais : « au vent » et « sous-le-vent ». Ils présentent néanmoins une franche disparité concernant le travail du sol, les parcelles de la côte-est n'ayant jamais été travaillées. Sur les quatre parcelles de la côte ouest, une activité agricole a été pratiquée depuis l'origine permettant de juger l'agressivité de la pluie en fonction du travail du sol : manuel, sillonnage et labour profond.

Les quantités totales d'érosion sont considérables, même si la densité des andosols est faible (proche de 1). Les différences de valeurs d'érosion proviennent surtout des années avec ou sans dépressions cycloniques (Tableau VI).

Tableau VI : Érosion en tonnes / hectare / an

Année	Beaumont	Trois-Bassins
1985	19,56	20,26
1986	29,94	48,20
1987	61,63	176,20
+ cyclone		

(A. GOPAL, 1990) (J. BOUGERE, 1988)

Diversité régionale

L'érosion est beaucoup plus forte sur la côte ouest que sur la côte est, malgré une grande disparité dans les chiffres totaux de précipitations (au moins deux fois plus de pluies sur la côte au vent) ; ceci tient essentiellement aux différences d'intensité des précipitations (Tableau III) et à l'état de la surface du sol : sur la côte ouest, sensible au dessèchement fréquent, la structure superficielle perd ses qualités de cohésion ce qui facilite l'ablation lors des pluies les plus intenses.

Variations annuelles

Du point de vue répartition annuelle, l'érosion apparaît seulement pendant les mois d'été sur la côte ouest (janvier à mars- tandis que sur la côte est seuls quatre mois, juillet à octobre, n'ont que des valeurs très faibles, montrant que si une forte quantité de pluie n'est pas nécessairement productrice d'érosion, la saturation du sol peut être un facteur d'ablation significatif.

Importance des façons culturales

L'érosion vient en premier lieu des volumes de sols dérangés et mis à la disposition de l'énergie de la pluie : le tableau VII montre, s'il en est besoin, l'importance de ce facteur, ici relié à la pente.

Tableau VII : Érosion en tonnes / hectare suivant les façons culturales à Trois-Bassins

Date	P totale	30'	Type de travail du sol		
			manuel 11°5	sillonage direct 11°5	labour 9°5
14-20/1/85	601,2	16,0	0,008	0,197	0,071
28-29/2/85	75,0	24,0	0,018	3,590	(pas de données)
8-12/12/86	168,5	29,5	0,100	18,770	1,248
12-19/1/87	65,5	29,0	0,000	32,448	4,703
16/02/1987 (cyclone)	710,5	32,0	14,508	30,420	120,04
28/01/1988	179,5	49,0	0,000	0,609	(pas de données)
22/02/1988 (orages)	234,0	42,0	36,08	421,200	(pas de données)

(J. BOUGERE, 1986-87-88-89).

L'importance de l'érosion (dernière ligne du tableau VII) lors des pluies orageuses de février 1988 vient, en plus, d'une récolte de pommes de terre effectuée la semaine précédente, équivalant à un labour sur au moins 30 centimètres : en certains endroits du champ, l'ablation a dépassé vingt centimètres d'épaisseur. Les formes sont en elles-mêmes spectaculaires, (Planche 1, 1-2-3) et les conséquences à long terme peuvent avoir des effets irréversibles (Planche 2).

Nature des produits transportés

Une observation majeure mise en évidence lors des études réside dans la granulométrie des produits transportés : les sédiments recueillis dans les cuves se présentent, dans une proportion de 75-85 %, sous forme d'agrégats de tailles variées, depuis les nanoagrégats (< 0,5 mm) jusqu'aux macroagrégats (> 20 mm). La figure 4 montre leur répartition au cours de l'année 1986. La présence des méso et macro-agrégats provient toujours du travail du sol à une date peu éloignée (sarclage, désherbant, sillonage, récolte), l'inverse étant provoqué et proportionnel à la densité et au pourcentage de recouvrement en mauvaises herbes : celles-ci jouent un rôle protecteur, bien que concurrençant la production.

Les études menées avec le simulateur de pluie ont confirmé, pour une étude qui portait sur l'effet « splash » (désagrégation du sol sous l'effet de l'intensité des précipitations (ADAM DE VILLIERS, 1990)), avec essais sur quatre parcelles à Trois-Bassins :

- que le temps de réponse des parcelles est d'autant plus bref que l'humidité du sol précédant la pluie est plus importante ; le ruissellement commençant moins de 5 minutes après le début de la pluie ;
- que le facteur « pente » (Tableau VII) était, après régression multiple, prépondérant.

Ces diverses manifestations, jointes à certaines pratiques pastorales (Planche 1, 4 - 5 et 6) peuvent avoir des effets pervers car peu visibles au début mais aboutissant à une perte difficilement compensable à court terme : bien que matériau « renouvelable », le sol ne se reconstitue que lentement ; de toutes façons, la pédogénisation d'altérites par brunification, (Planche 2, 3 et 4) ne se fait qu'à partir d'altérites largement désaturées, le climat actuel ne permettant pas toujours une hydrolyse totale aussi rapide qu'au cours de certaines périodes paléoclimatiques.

La carte de sensibilité à l'érosion résume nos observations et les enseignements tirés de nos mesures (Fig. 5).

STRATÉGIES ANTI-ÉROSIVES À LA RÉUNION

Les constatations faites par les études menées et par les utilisateurs du sol eux-mêmes ont permis, notamment par l'intermédiaire d'associations, d'entreprendre une information sur les méfaits de l'érosion due à la non-protection des sols (= perte de l'outil de travail) et de développer des stratégies plus ou moins lourdes, déjà expérimentées ailleurs, en milieu tropical. Mais les techniques ne suffisent pas : la formation et l'information sont aussi des outils privilégiés pour compléter l'arsenal qui permettra la conservation du patrimoine pédologique tropical.

Des moyens techniques d'aménagement de versants : du simple au plus sophistiqué.

Les bandes d'arrêt

Deux types de bandes d'arrêt (ou andains) existent à La Réunion. Les uns sont en matériaux vivants (plantes) les autres constitués de produits d'épierrage ou de bois morts. Leur mise en place peut se faire soit à la main soit à l'aide d'engins lourds (Planche 3, 2, 5).

- Aménagement au « bull »

Lors du défrichage au bull, les végétaux sont entassés perpendiculairement à la pente ; l'aspect chaotique joint aux arbres en général tordus laissent de nombreux « trous » dont certains dépassent le m² : on voit mal comment limiter le ruissellement et par conséquent l'érosion corrélative, sauf dans le cas où l'horizon humifère a été raclé avec tapis végétal ; il faut alors reconstituer cet horizon et la partie la plus intéressante du sol est alors stérilisée par le brûlage des andains. En effet, ces andains sont souvent perçus comme une contrainte et vécus comme une réduction notable de la surface cultivée ; ils sont accusés de favoriser le repousse d'espèces inutiles : larges de plusieurs mètres à la base et constitués de la meilleure terre ils favorisent la plante pionnière la plus rapide (bringellier marron) qui gêne ensuite les cultures par l'ombre qu'elle porte. Les andains sont aussi parfois une gêne pour une culture mécanisée ; ils gênent la circulation avec un tracteur surtout si la pente est forte. Il faut en effet rectifier le profil du versant en fonction de la dénivellation : mettre des andains tous les trois mètres de dénivellation revient à faire des marches larges de seulement quelques mètres ou seule la culture manuelle est possible : la charge de travail (et la main d'œuvre) est considérée comme trop contraignante.

– Aménagement manuel en banquettes cultivées

De nombreux aménagements ont été réalisés à La RÉUNION, à ANJOUAN et à MAYOTTE, avec des songes, du maïs, de la patate douce, des artichauts, des ananas, des marguerites, (Planche 3) de la canne fourragère, du vétyver, du tabac, ou des associations variées au goût de l'agriculteur ; sur pentes fortes il existe d'autres techniques comme les cultures intercalaires (Planche 3, 4) dans le géranium (tomates, maïs, haricot, pomme de terre arachides) ou en cultivant des céréales comme l'avoine pour en coucher la paille lors des premières pluies entre les rangs de maraîchage (Planche 3, 6). Avec les tiges de maïs il est aussi possible de faire des fascines qui peuvent être végétalisées ou maintenues par les repousses des végétaux utilisés (goyavier). Sur pentes faibles et demandant moins de travail que les banquettes, des essais réussis de couverture intercalaire avec des graminées non consommables ou des cultures consommables (arachides notamment), ne venant pas en concurrence directe tant du point de vue racinaire, que du point de vue consommation d'éléments nutritifs du sol, ont été faits à La RÉUNION ; ceci a nécessité des essais répétés sur sites expérimentaux et chez des agriculteurs. La CIRARD-IRAT / RÉUNION a commencé à vulgariser cette technique assez sophistiquée où des désherbants sélectifs, n'endommageant pas les cultures principales, sont nécessaires.

Le problème d'inefficacité observée sur les andains (trous, passages d'eau, ravinements) vient de ce que les andains ne sont pas en plantes pérennes, mais en plantes récoltées ou arrachées (cas des patates douces notamment, des songes) ; il faut dès lors concilier rentabilité et efficacité. Un autre inconvénient est provoqué par les andains ou banquettes qui démarrent correctement sur un versant ou champ, perpendiculaires à la pente, mais une fois la première direction prise, elle est conservée quelle que soit la configuration du terrain : on arrive au bout de quelques mètres à des banquettes parallèles à la pente, et le résultat est l'inverse de ce qu'on attend avec beaucoup de travail (= temps) perdu. Enfin, le problème principal réside dans l'aménagement du versant pris comme un tout : aménager des parcelles avec un impluvium en amont ne sert à rien, surtout lorsqu'il y a une route et un espace construit en amont des parcelles sans qu'une évacuation des eaux soit prévue. A ce moment-là, tout ruisselle dans les champs sous une forme déjà concentrée et l'érosion est inévitable, venant à bout des meilleurs aménagements (Planche 1, 1).

Lutte anti-érosive et reconstitution du stock de matière organique

Lorsque le défrichement ou la reprise d'un sol temporairement abandonné s'effectue, il importe de déranger le moins possible la structure superficielle, sous peine d'avoir ensuite à la refaire, ce qui est beaucoup plus long et généralement très coûteux. La pratique du défrichement mécanique rend souvent nécessaire ce genre de travail, car l'horizon superficiel, souvent tronqué par un cycle de culture antérieur (Planche 2, 1c), est emporté avec le bull ; l'agriculteur se trouve avec un horizon A2 ou B1 auquel il faut redonner une structure pour une meilleure aération du sol et enrichir à nouveau par la fumure (lisier de porc, fumier de bœuf, écume de canne ou fumier géranium).

En plus de son coût très élevé (entre 1 200-1 500 F le camion, soit 200-375 F la tonne) cette opération a la mauvaise réputation de véhiculer des parasites, comme le « pourridier » à partir de l'écume de canne ou de graines qui introduisent ensuite dans les cultures des mauvaises herbes.

Lutte anti-érosive et drainage

En raison des importantes chutes de pluies accompagnant les dépressions tropicales à La Réunion, il est nécessaire de drainer en bordure des ouvrages de protection des terres, mêmes si la capacité de filtration est importante. Ce problème est résolu dans le cadre des aménagements lors de l'épierrage en particulier dans la région de St-Benoît : les andains de pierre guident l'eau vers la ravine la plus proche ; ceci implique que cette dernière ne soit pas comblée par les produits de défrichement.

Les bordures de routes sont généralement bordées d'un fossé du côté amont : ce fossé est censé d'empêcher le ruissellement de la route sur les terrains en contrebas. En réalité le fossé est souvent à contre-pente et l'impluvium constitué par la route entraîne des ravinements dans les cultures situées au-dessous. Lorsque ce fossé existe et lorsque la pente de la route se dirige vers lui, il arrive fréquemment que son entretien laisse à désirer et qu'il soit comblé, ce qui annule son efficacité (Planche 1, 1). Enfin, les problèmes les plus graves se posent aux virages : il manque toujours les passages-à-grille qui permettraient à l'eau de franchir la route sans dommage pour les champs environnants.

Les chemins d'exploitation sont eux aussi démunis de toute protection : sans fossés de drainage sur leurs bordures, le chemin devient lui-même axe de drainage où le ravinement est marqué dès les premières pluies ; des entailles de plusieurs dizaines de centimètres ont ainsi pu être observées.

Lutte anti-érosive et parcellaire foncier

Pendant longtemps dans la zone du géranium, la lutte anti-érosive n'a pas été le souci majeur, tant du propriétaire que du colon ; il fallait surtout faire « rendre » le plus possible pour l'un sur une terre qui n'appartenait pas à l'autre.

Les propriétaires fonciers, ayant souvent peu de lien avec la terre (emploi en dehors du secteur primaire), sont pratiquement inopérants vis-à-vis de l'érosion. Au fil des années ces propriétaires sont en indivision par suite des partages successoraux ; les opérations de restructuration foncières ne peuvent se faire qu'à la faveur des récupérations de terres non cultivées depuis plus de vingt ans avec des rachats (par la SAFER jusqu'à une époque récente, par la DAF actuellement). Ces propriétaires sont indifférents aux façons culturales.

La lutte anti-érosive ne peut par ailleurs se faire individuellement : c'est un versant entier qu'on aménage, et en commençant par le haut : s'il se trouve un propriétaire de mauvaise volonté en travers de la pente, les efforts de protection et de drainage seront nuls.

Lutte anti-érosive et charge de travail

Lorsqu'il s'agit d'aménager une pente, il faut considérer, en dehors de toute considération technique, deux soucis principaux. Aux yeux de l'agriculteur, ils ont une place prépondérante : le coût financier de l'opération et le temps nécessaire. Ce qui représente parfois une charge ressentie comme insupportable sur le plan financier et une perte de temps qui pourrait être utilisé ailleurs.

Le défrichage mécanique nécessite une douzaine d'heure par hectare et a été pendant longtemps la seule méthode subventionnée ; ce type de défrichage a, de plus, l'avantage de débarrasser le terrain des souches d'arbres et d'offrir à l'exploitant une surface utilisable, mécanisable dans les limites indiquées plus haut.

Le défrichage à la main nécessite entre 60-100 jours de travail selon les difficultés du terrain et les moyens matériels mis en œuvre ; il est subventionné depuis 1989 seulement, les résidus de travail doivent être évacués avec les moyens traditionnels et les souches ne sont pas retirées du champ. S'il faut, en plus, y pratiquer des banquettes ou des murettes, le temps de travail peut être facilement doublé.

Devant cette alternative, le choix est simple et facile à faire ; on va au plus vite afin d'obtenir une récolte dans les meilleurs délais, d'autant plus que la situation financière en début d'installation est parfois préoccupante et presque toujours précaire.

Lutte anti-érosive et formation

La lutte contre l'érosion peut partir des constatations faites par les agriculteurs eux-mêmes (« la tèr lé pli bon... », « la tèr i par ek lo... »). Leur perception du résultat est nette et assez bien répandue ; ce qui l'est moins, ce sont les mécanismes et encore moins les facteurs d'érosion. En particulier l'agressivité de certaines pluies leur échappe, notamment celle des pluies orageuses de début et de fin de saison humide ; par contre ils attribuent aux pluies

cycloniques une efficacité qu'elles n'ont pas. En effet le ruissellement est très important pendant les dépressions tropicales et c'est cette impression de fort écoulement qui domine ; une forte érosion leur est exceptionnellement liée. Trois groupes de personnes peuvent être visés par une formation en matière de lutte anti-érosive : les artisans de l'aménagement (encadreur, conducteurs), les agriculteurs et les jeunes pendant leur scolarité.

Les artisans de l'aménagement

Les conducteurs d'engins de défrichement sont déjà informés par divers organismes et services (SAFER, SUAD, Sicaprocane et promocanne, etc.), mais il semble que certains abus soient fréquents sur les terrains défrichés (non-respect du piquetage de départ, défrichements sur des pentes trop fortes, encombrement des ravines par les blocs ou végétation désouchée) ; certaines précautions pourraient être prises également à la phase finale du travail lorsque le bulldozer quitte le champ, de ne pas faire une longue trace dans le sens de la pente qui va guider le ruissellement à la première pluie.

Les encadreurs du SUAD ou des associations (APR, etc.) sont sensibles au problème, mais il reste beaucoup à faire pour leur donner les moyens et le minimum technique indispensable d'efficacité, notamment par un temps de présence suffisant auprès des agriculteurs.

Les agriculteurs

Plusieurs exemples ont montré qu'une information bien comprise entraînait deux conséquences : l'application des techniques reçues et l'explication des raisons qui motivaient cette mise en œuvre, que ce soit chez un ancien de la SAKAY (Madagascar) soit chez un agriculteur ayant bénéficié d'un stage et du suivi par des encadreurs. La notion de long terme est difficile à admettre, surtout lorsqu'on attend la première récolte et que la pluie n'est pas abondante, justement, cette année-là. Le raisonnement est alors au « tant qu'il ne se passe rien, on y va... » La conséquence logique est dans les habitudes introduites chez les agriculteurs : s'il y a des dégâts on ira chercher la subvention pour calamités agricoles, pour peu que la commune soit déclarée sinistrée à la prochaine dépression. L'absence de politique agricole à long terme est la cause de cette crise géomorphologique. Tant que les revenus sociaux combleront les inconvénients de la politique à courte vue qui règne depuis 48 ans, il ne faut pas espérer un comportement différent de la part des utilisateurs du sol qui auraient bien tort de ne pas profiter de la situation et de façon fort habile.

Les jeunes pendant leur scolarité

Sans vouloir faire des adultes des gens incorrigibles et sans scrupules, il semble que l'effort de formation doive être largement tourné vers les jeunes. Le rôle des habitudes dans le comportement humain est bien connu, l'avantage des réflexes acquis pendant la période de formation induit un comportement qui sans être irraisonné doit conduire à se poser un certain nombre de questions avant de réagir devant un problème.

Par les moyens audio-visuels il y a un grand nombre de ressources qui sont à la portée de tous les niveaux d'enseignement sans compter sur les possibilités d'observations directes que, malheureusement, offrent presque tous les terroirs de l'île dans le domaine de l'érosion. Il faut aussi souhaiter que dans un proche avenir les exemples de protection des sols seront aussi nombreux.

C'est pourquoi nous avons travaillé à produire des outils de formation utilisables dans les classes et dans les réunions de formation :

- une pochette de 24 diapositives sur l'érosion et les moyens de lutte (plusieurs documents sont reproduits sur les trois planches), (BOUGERE, 1991a) ;
- une pochette de 24 diapositives sur les méfaits du feu de brousse, (BOUGERE, 1991b) ;
- des posters ;
- une affichette sur le feu ;
- une carte (jointe) sur les zones sensibles à l'érosion à La Réunion, (BOUGERE, 1989a).

La CIRAD-IRAT a aussi présenté en 1991 une carte morphopédologique (RAUNET 1991) ; il en a été réalisé aux Comores (LATRILLE 1977) à Mayotte (LATRILLE 1981) et à Madagascar (CTFT).

Plus les moyens d'information seront variés, plus ils seront capables de toucher toutes les sensibilités ; l'Association pour la Promotion en Milieu Rural a fourni aussi une cassette vidéo (« Les Blessures de la Terre ») dont parlera Alain HEBERT ; aux Comores un dépliant a été réalisé, suite au séminaire d'Anjouan en 1989 : tous ces moyens montrent l'importance du problème et l'intérêt qu'on y porte laisse espérer une meilleure gestion des terres cultivées, même si les problèmes convexes sont complexes.

CONCLUSION

La lutte contre l'érosion des sols repose sur une bonne connaissance des processus et de l'efficacité des agents d'érosion : l'évaluation d'une érosion moyenne annuelle doit être faite de manière scientifique, sans perdre de vue que les pratiques culturales et l'inventaire des sols et des paysages, dans les trois dimensions, soit réalisé : ceci est une affaire de spécialistes, comme l'a rappelé A. Ruellan ; la fragilité des sols tropicaux nécessite des soins appropriés.

Pendant l'artisan principal de cette conservation des sols reste l'utilisateur quotidien du terrain : c'est par la connaissance de sa perception et de son rapport sociologique voire affectif et culturel avec le sol que passe la stratégie anti-érosive à mettre en œuvre, à condition qu'il en perçoive l'utilité, l'intérêt pour le futur et qu'il puisse dominer techniquement l'arsenal de lutte nécessité par l'état initial (cf. l'intervention de M. Brochet). Si l'agriculteur n'est pas convaincu, c'est en vain que peine l'aménageur professionnel.

Enfin à La Réunion, comme dans toute les îles de l'Océan Indien, un problème majeur déjà sensible aux Comores est en train d'apparaître, comme en Haïti (M. Brochet) : celui de la disponibilité de terre qui pousse à une surexploitation des sols : le problème démographique est peut être le problème primordial à résoudre pour dominer celui de l'érosion des terres agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM DE VILLIERS C., « Etude de l'effet splash. », *Mém. DEA Univ.*, Nice, 102 p.
- BACHELERY P., « Le Piton de la Fournaise, Etude volcanologique, structurale et pétrographique. », *Thèse Spéc. Univ. de Clermont-Ferrand*, 1981, 215 p.
- BOUGERE J., « Aspects de l'érosion dans le Cirque de Mafate, Ile de La Réunion. », *O.N.F.-Réunion*, 1983, 6 p.
- BOUGERE J. « Rapport Erosion. », *Programme Eaux Superficielles et Souterraines à La Réunion*, 1986a, 60-131.
- BOUGERE J., « L'activité volcanique à La Réunion : l'éruption de mars 1986 : mesures et cartographie. », *Bull. du Lab. de Géographie Physique*, 1986b, 86-1, 3-22.
- BOUGERE J., « Rapport Erosion 1986-1987. », 1988, 65 p.
- BOUGERE J., « Carte de sensibilité à l'érosion : REUNION. », 1989a.
- BOUGERE J., « Rapport Erosion 1988. », 1989b, 45 p.
- BOUGERE J., « L'Erosion, faits et mesures, moyens de lutte, notice et pochette de 24 diapositives. », *CNDP*, St-Denis, 1991a.
- BOUGERE J., « Halte au feu, notice et pochette de 24 diapositives. » *CNDP*, St-Denis, 1991b.

- CHEVALLIER L., « Structures et évolution du volcan Piton des Neiges (Ile de La Réunion) ; leurs relations avec les structures du Bassin des Mascareignes, Océan Indien Occidental. », *Thèse U.S.T.M. de Grenoble*, 1979, 167 p.
- DURET M., « Pluies génératrices de crues à La Réunion D.Dép. de l'Equipement - Réunion. », *S.H.S.* 1982,, 95 p.
- GOPAL A., « Rapport Erosion 1989-1990. », 1990, 65 p.
- GOPAL A., « Recherches en géomorphologie dynamique actuelle à La Réunion : le ruissellement et l'érosion pluviale sur parcelles expérimentales et bassins-versants. », *Thèse Université de Nice*, 1992, 484 p.
- HAURIE J.L., « Géodynamique des Cirques de La Réunion : implications géotechniques et stabilité des versants. », *Thèse U.S.T.M. de Grenoble*, 1987.
- LATRILLE E., « Propositions d'affectations des terres, exploitation de données 1965-1977. », *IRAT*, 1977, 361 p.
- LATRILLE E., « Inventaire des terres cultivables et carte morphopédologique de Mayotte, 1/50 000e. », 1991, 21 p.
- RAUNET M., « Carte morphopédologique, Ile de La Réunion 4 cartes au 1/50 000e. », *IRAT*, 1991.
- RAUNET M., « Les facteurs de l'érosion des terres et l'envasement du lagon. », *Dir. de l'Agriculture, Mayotte*, 1992, 68 p.
- ROBERT R., « Climat et Hydrologie à La Réunion. », *Thèse N.I.D.*, St-Denis, 1987, 438 p.
- STIELTJES L., « Carte des coulées historiques du volcan de la Fournaise, (Ile de La Réunion). », *BRGM-AGM*, St-Denis, carte au 1/25 000e, 1986.
- VALENTIN M., « Propositions pour un simulateur de pluie simplifié. », *Doc. interne, ORSTOM*, Abidjan, 1980, 42 p.
- WISCHMEIER W.H. et SMITH (D.D.), « An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. », *7 th Intern. Cong. Soil Science*, 1960, I : 418-425.

Figure 1 : Pluviogramme des 15-16-17/02-1988, Trois-Bassins

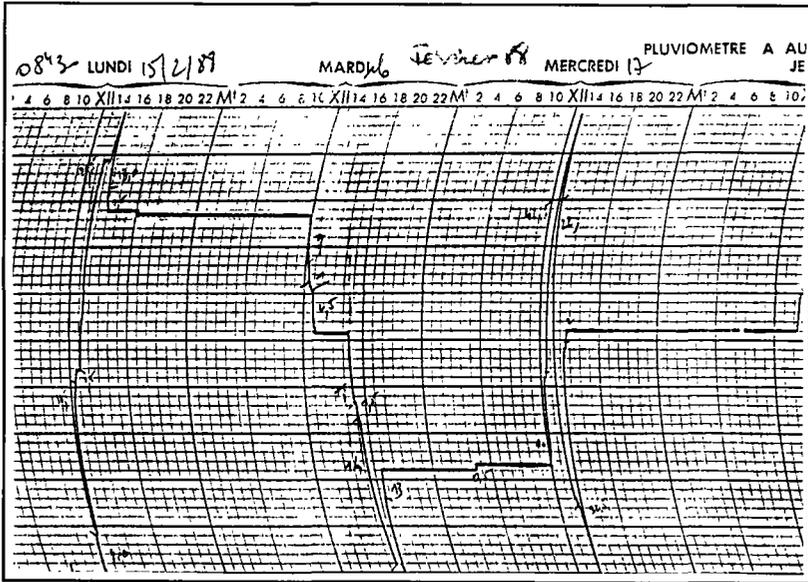


Figure 2 : Hyétogramme des 14 et 15 février 1988, Trois-Bassins

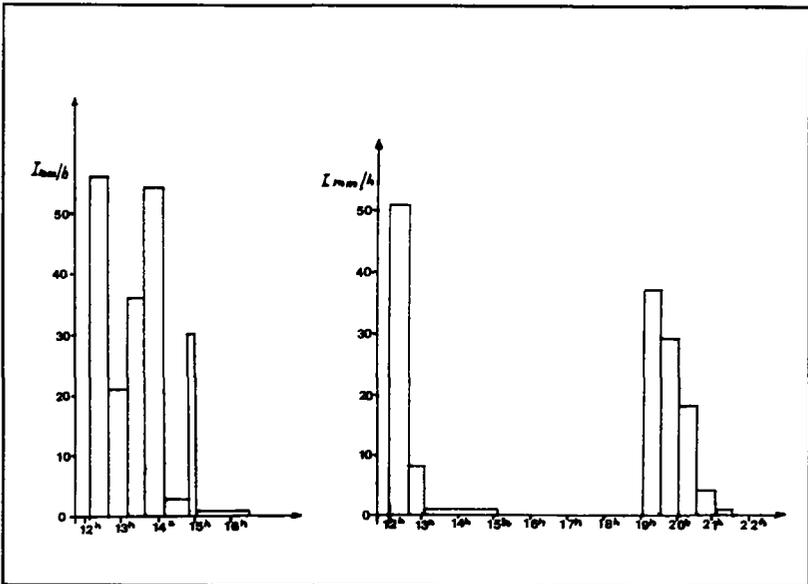


FIGURE 3 : Activités agricole de la Côte Ouest, Ile de la Réunion Atlas CEGET, 1975.

On constate au fil des ans qu'une opération « simplification » des activités rurales s'est faite : des huit activités de la première période (1665-1790) on passe à 7 (1790-1810), puis à trois pour la suivante (1815-1925) et actuellement deux : avec d'innombrables aléas doublés de difficultés et de misère que l'on devine, on est passé d'une économie vivrière à celle de la culture d'exportation largement subventionnée. Dans le même temps cette région a vu son potentiel pédologique décliner ; les régions littorales, sous-le-vent, produisant des légumes, du maïs, pratiquant une polyculture associée à l'élevage sont passées en friche dès le début du XVIII^e siècle (30 ou 40 ans environ) et ont évolué en savane très dégradée à épineux où le feu ne fait qu'accroître la stérilité. La monoculture de la canne à sucre et l'introduction du géranium (1850 ou 1870), nécessitant beaucoup de main-d'œuvre temporaire, règne sur cette région qui a perdu beaucoup de sa richesse rurale et de son intérêt économique lié à la polyculture. On peut constater qu'au début du XVIII^e on y faisait déjà de l'élevage bovin.

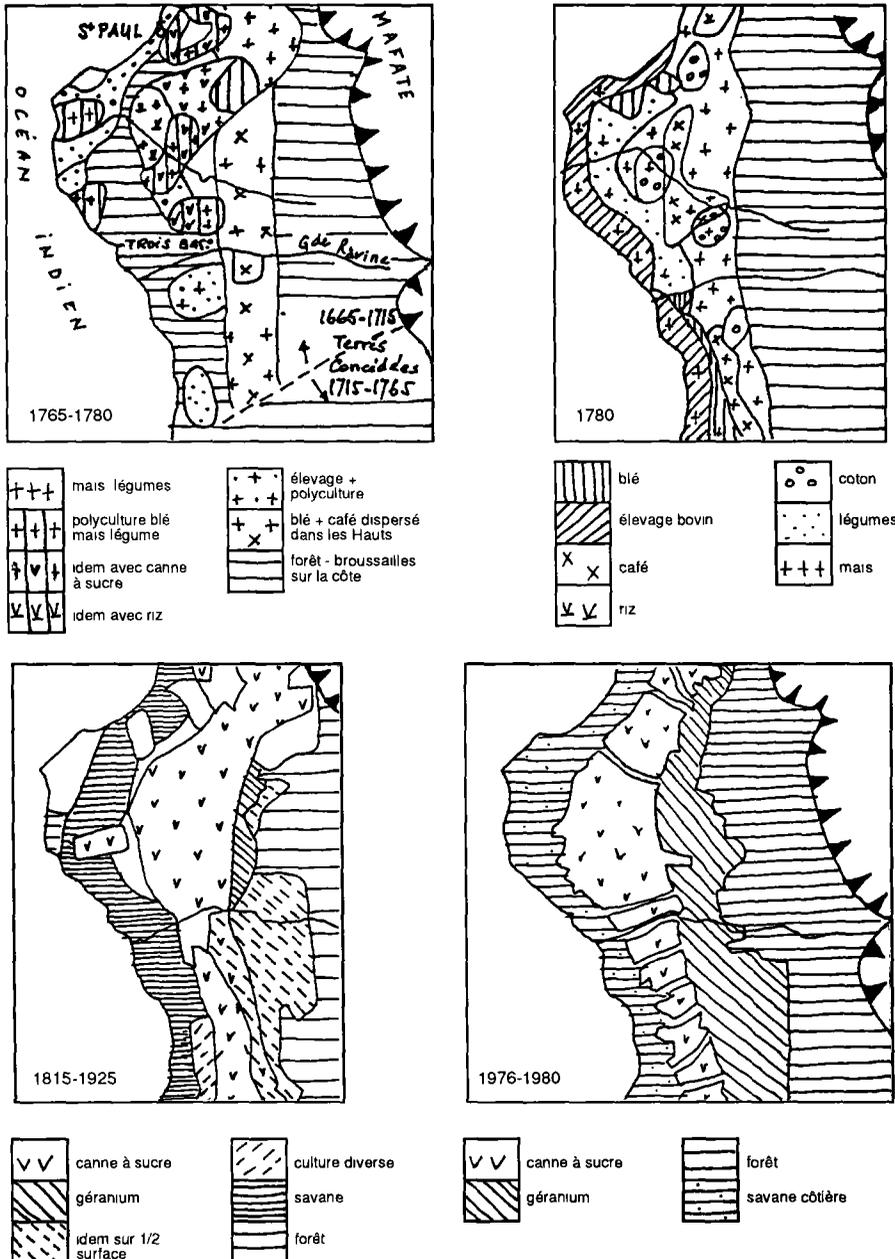


Figure 4 : Granulométrie des agrégats recueillis dans les cuves d'érosion

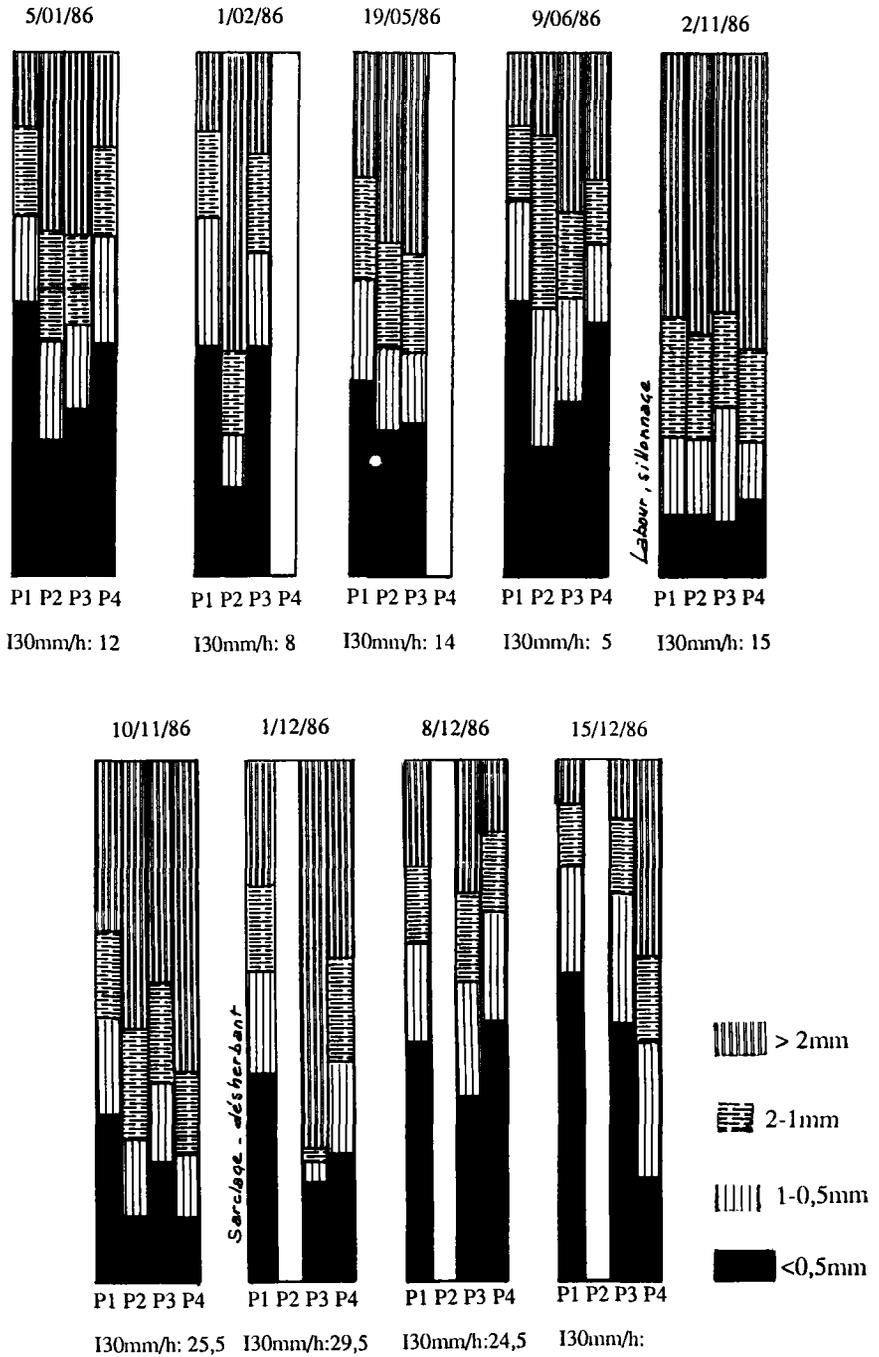


Figure 5 : La Réunion : Sensibilité à l'érosion

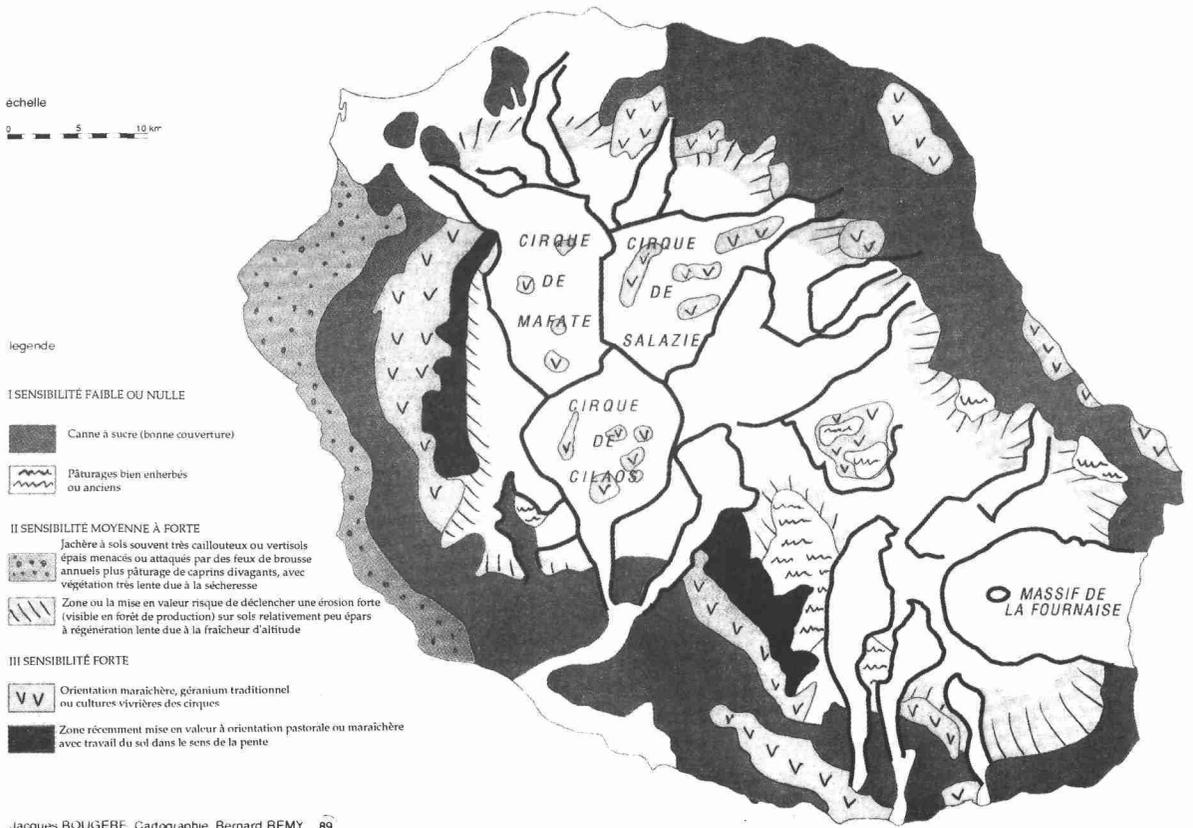


PLANCHE 1 : FORMES D'ÉROSION

Empreinte d'érosion :

- 1 ravinement généralisé sur forte pente non aménagée
- 2 ravinements en rigoles sur pente fraîchement labourée
- 3 décapage de l'horizon A par élargissement de rigoles sur l'horizon B structural



1



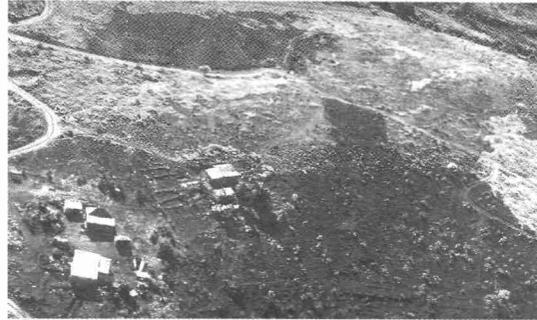
2



3



4



5a



5b

Utilisation du milieu sans ménagement : un paysage ravagé et stérile

PLANCHE 2 : EFFETS DE L'ÉROSION

Résultats apparents de processus érosifs :

- 1 érosion sur pentes non aménagées : décapage superficiel : le profil original (a) évolue en profil « tronqué » (b) en surface cela se traduit par des taches claires révélant l'affleurement de l'horizon B ou, cas plus grave, celui des altérites (c), avec disparition de l'horizon organique
 2 érosion sur pente par supétiement : sol récemment défriché, mécaniquement, non stabilisé sous tapis herbacé fragile (« kikuyu ») (a) ; culture sur champ non aménagé (« tavy ») (b), provoquant le décapage de surface et l'apparition des roches du substrat (c).



1a



2a



1b



2b



1c



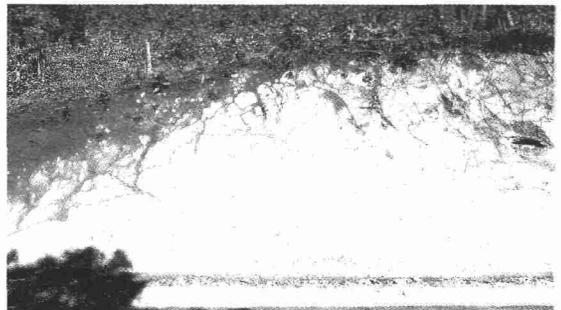
2c

Nouvelle pédogenèse :

- 3 sur sol complètement décapé : un lithosol très pauvre
 4 sur altérites encore épaisses, une brunification peut se développer



3



4

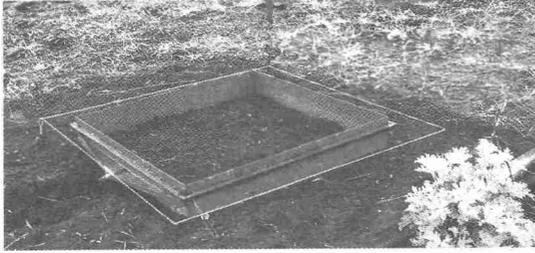
PHOTOS : J. BOUGERE

PLANCHE 3 : MESURES ET MOYENS ANTI-ÉROSIFS



1

Mesures de ruissellement-érosion
 1 parcelles d'érosion-ruissellement
 2 cuve de réception à l'aval des parcelles
 3 surface de base pour l'étude de l'érosion et du ruissellement avec simulateur de pluie



3



Lutte anti-érosive : moyens simples

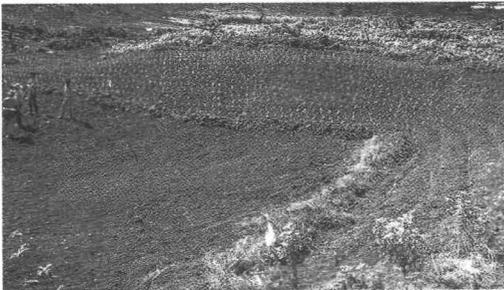
- 1 culture en courbes de niveaux
- 2 talus et andains d'épierrage
- 3 rigoles de drainage suivant la pente secondaire
- 4 couverture intercalaire
- 5 bandes d'arrêt
- 6 maintien sur place des résidus de culture



1



4



2



5



3



6

PHOTOS : J. BOUGERE

LES STRATÉGIES DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION ET L'AMÉNAGEMENT DES BASSINS-VERSANTS EN HAÏTI

Michel BROCHET

RÉSUMÉ

En Haïti, depuis plus de trente ans, des projets de conservation des sols, de lutte contre l'érosion et de reboisement interviennent sans résultats significatifs sur les processus de dégradation des milieux. Plusieurs approches ont été tentées :

- politiques de mise en défens et de reboisements forestiers autoritaires ;*
- programmes d'agroforesterie où l'arbre et les ligneux à croissance rapide sont considérés comme cultures de rente renouvelables.*

Ces politiques sectorielles, en considérant la protection des ressources naturelles comme une fin en soi, n'ont pas créé les conditions socio-économiques favorables permettant d'intéresser les agriculteurs et d'améliorer leurs revenus. D'autre part, les pratiques bureaucratiques des appareils de vulgarisation n'ont pas créé les espaces de liberté favorisant l'innovation et la créativité nécessaire pour une gestion différenciée de la diversité des milieux.

Un programme de recherche-développement initié par le projet de coopération Franco-Haïtien de Salagnac a testé une démarche qui vise à réaliser des diagnostics préalables permettant de comprendre l'évolution et la transformation des systèmes agraires, afin de mieux prendre en compte les intérêts socio-économiques de l'ensemble des agriculteurs gestionnaires de leurs espaces.

En Haïti, la forêt et la gestion de l'arbre ont fait l'objet de nombreux mythes qui se sont renouvelés à chaque époque en fonction des discours officiels.

Les projets sectoriels de reboisement, de lutte contre l'érosion (D.R.S.), de bois de feu n'ont jamais atteint les objectifs qu'ils s'étaient fixés : tout au plus, sont-ils venus renforcer les imprécations sur la conservation des ressources naturelles et sur la dégradation de l'environnement ; ils ont même parfois contribué à la mise en œuvre de mesures coercitives à l'encontre des paysans des morne¹ faisant figure d'accusés.

Le mythe fondateur en matière d'environnement, est celui de la « perle des Antilles » que découvrit Christophe Colomb en 1492, tel qu'il est enseigné à tous les Haïtiens dans leurs manuels d'histoire, dont l'évocation est transcendée par les peintures naïves contemporaines qui mettent en scène les paradis « agroforestiers » de l'époque précolombienne.

Dans ces manuels, il n'est pas fait mention des techniques de défriche-brûlis qui étaient utilisées par les Indiens pour cultiver leurs champs ; pratiques qui n'étaient sans doute pas déjà sans conséquences sur l'environnement de l'île !

La deuxième « évocation » a trait à l'époque coloniale qui a brisé ce premier « équilibre écologique » en défrichant sur de grandes surfaces les pentes des collines pour y planter des cultures de café sous des arbres de couverture tels le sucrin (*Inga vera*) et le bois trompette (*Cecropia seltata*). L'interprétation de ces facteurs de déséquilibre devrait cependant être faite avec prudence car il est fréquent d'entendre lors d'enquêtes auprès des anciens, qu'avant le cyclone Flora en 1963, un cavalier pouvait se déplacer toute une journée sans voir le soleil tellement il y avait de café dans le pays d'Haïti !

1. Morne : terme créole désignant une colline

Il est cependant indéniable que les défrichements, le tracé de routes et les concessions pour l'exploitation des bois précieux comme l'acajou, le gayac, le campêche et plus récemment les résineux, ont fortement contribué à la dégradation accélérée du milieu.

Tous les écrits anciens et contemporains dénoncent les contrats de type « SHADA² » qui ont permis l'exploitation minière des ressources naturelles.

Ces constats sur la destruction des éco-systèmes forestiers, avec leurs conséquences sur la dégradation des sols et les accidents climatiques, furent à l'origine des projets de reboisement anti-érosifs qui suscitèrent la mise en place de réglementations instituant de nombreuses interdictions sur l'exploitation des ressources ligneuses :

- classification des sols en fonction des pentes et avis de mise en défense;
- interdiction de vaine pâture dans le plateau central et de divagation du bétail ;
- taxations à l'abattage des arbres : taxations des planches, des fours à chaux et du charbon de bois.

Ces conceptions sur la « mise en défens » ont été également invoquées par certains pour remettre en cause l'ouverture de routes secondaires et de chemins ruraux afin d'éviter l'extension du commerce du bois de chauffage pour les distilleries et la fabrication du charbon de bois.

Ces politiques de mise en défens des années 60 et 70 n'offrant pas d'alternatives réalistes aux paysans n'eurent pas de résultats sur les processus de régression du couvert ligneux comme le montre l'étude des séries de photos aériennes de 1957 à 1976.

Par contre, elles offrirent un cadre « légal » aux divers agents des projets et des administrations pour taxer les paysans et générer de nombreux abus selon la tradition du « caporalisme agraire ».

En 1976, un anthropologue américain, Gérald Murray, dénonça ces conceptions qui créaient de nombreux blocages et proposa de considérer l'arbre comme une culture génératrice de revenus puisque telles étaient les pratiques, notamment celles de paysans producteurs de charbon de bois dans les zones qu'il étudiait³.

Plutôt que d'interdire ou de restreindre l'exploitation des arbres, pourquoi ne pouvait-on pas la généraliser tout en favorisant l'organisation de la gestion, de sorte que les revenus de l'exploitation des ligneux pourraient se substituer à ceux des cultures vivrières traditionnelles comme le haricot, le maïs et le sorgho qui étaient considérées comme des cultures favorisant l'érosion des terres de montagne ?

Ces observations pragmatiques sur les pratiques paysannes s'arrêtèrent malheureusement à ce premier constat ; et les responsables des projets reprirent le concept de l'arbre culture de rente pour définir une politique d'échanges commerciaux privilégiant les avantages comparatifs.

Quant aux techniciens, ils adoptèrent ce concept agroforestier pour lutter contre l'érosion des sols et aménager les bassins versants en se servant des référentiels techniques comme « l'alley cropping » et les essences forestières exotiques à croissance rapide.

2. SHADA : Concession Nord Américaine qui a détruit des plantations de café pour y substituer de l'hévéa dont la production fut un échec.

3. Les études de G. Murray ont porté essentiellement sur le Nord-Ouest et les pourtours de la plaine du cul de sac, zones sèches où les paysans pratiquent l'élevage de cabris et la fabrication du charbon de bois avec des prosopis ; G. Murray, Terraces, trees and the Haitian peasant : an assesment of 25 years of erosion control in rural Haïti Port au Prince - USAID 1979.

Le rapport Berg (USAID - 1982) illustre les propositions faites à l'époque dans le cadre du C.B.I. (Caraïbean Bassin Initiative), à savoir :

- développement dans des zones franches d'industries d'assemblage utilisant la main d'œuvre locale bon marché ;
- importation des céréales aux cours mondiaux pour nourrir les villes ;
- remplacement de l'agriculture vivrière dans les zones de montagne par des productions fruitières et forestières plus respectueuses de l'environnement et intensification des productions irriguées dans les plaines de nouveau protégées des phénomènes érosifs.

C'est dans ce contexte que des projets de type « bois de feu » et agroforestiers virent le jour.

Il est à noter que les premiers à appliquer ces principes furent des exploitants particuliers⁴ disposant de grandes surfaces sur lesquelles ils plantèrent des essences à croissance rapide telles que le Neem et le Leucaena.

En 1981, la Fondation Pan-Américaine pour le Développement (P.A.D.F.) avec des financements de l'USAID, mit en œuvre un important projet d'agroforesterie sur l'ensemble du pays en généralisant la distribution de plantules d'arbres (7 millions par an) auprès de plus de 60 000 paysans en 10 ans.

Ainsi, durant la décennie des années 80, sommes nous passés de stratégies d'interdictions et de taxations à des stratégies de diffusion large, d'espèces exotiques à croissance rapide, voire à une saturation du milieu avec la liberté pour les paysans d'exploiter librement les arbres et d'en faire éventuellement du charbon.

Par ailleurs, les bailleurs de fonds ont utilisé durant cette période, directement et pleinement, le canal des organisations non gouvernementales⁵.

Notre propos, dans cet article, ne concerne pas l'évaluation du projet Pyebwa (Pied-bois) de la PADF, mais plutôt, compte tenu de son large impact dans le pays et de l'adoption de sa démarche par la plus grande majorité des ONG, de montrer les limites d'une approche sectorielle considérant la lutte contre l'érosion et l'agroforesterie comme une fin en soi.

Les projets de défense et restauration des sols sont sécurisants pour les services de programmation et de suivi des projets, car on ne manque pas de critères quantitatifs pour rédiger des rapports d'activités pour les bailleurs de fonds : nombre de plantules distribuées, pourcentage de reprise, kilomètres ou mètres cubes de terrasses ou diguettes réalisés...

Par contre, les évaluations sur la pérennité des structures mises en place et leur impact sur l'amélioration des revenus des agriculteurs ne permettent pas de se satisfaire de ces pratiques actuelles des projets.

Les lacunes ou les insuffisances portent le plus souvent sur :

- l'absence d'une approche spatiale prenant en compte les paysages et les systèmes de culture et d'élevage ;
- la déficience du raisonnement agronomique pour rechercher une adéquation sol-climat-plante dans l'écosystème ;
- la non prise en compte des stratégies et des intérêts des agriculteurs dans les calculs économiques ;
- des transferts techniques tronqués qui ne permettent pas la fonctionnalité et la reproductibilité de celles-ci.

Ces aspects sont le plus souvent obérés par le caractère sectoriel, voire idéologique des démarches.

4. Double Harwest - Pasteur - W. Turnbull

5. Le projet PADF en 1990, travaillait avec 77 ONG, ce qui représentait 971 agents et techniciens agroforestiers et une distribution de 7 millions de plantules par an.

LES TERROIRS

L'étude des paysages et du fonctionnement des systèmes de culture et d'élevage devrait permettre la définition de principes directeurs pour réaliser des actions de reboisement ou d'embocagement.

Actuellement, la plupart des projets réalisent encore des aménagements et des plantations de manière indifférenciée par rapport à l'espace.

Les principes qui guident le plus souvent ces aménagements sont la plantation en ligne et en courbe de niveau avec seulement deux ou trois essences exotiques à croissance rapide.

Cependant, les principes qui déterminent les modes de mise en valeur et d'occupation des sols en Haïti ont fait l'objet de plusieurs études qui mettent en évidence une grande diversité de situations en ce qui concerne :

- les modes de tenure des terres et la sécurité foncière pour l'investissement ;
- la répartition de l'habitat ;
- la topographie et la nature des sols.

On peut ainsi distinguer plusieurs zones, avec leurs propres règles de fonctionnement, et en dégager des principes d'aménagement :

Le Lacou, ou aire résidentielle entourée d'un verger étagé, mixte⁶

C'est l'endroit où l'on trouve un système boisé planté, multi-étagé composé principalement de caféiers, de bananiers, de citrus, d'avocatiers et d'essences forestières. Cette composition et la proportion des espèces varient avec l'âge de la plantation et le niveau socio-économique de l'unité de production agricole⁷.

Ces parcelles sont des îlots de biomasse qui remplissent pleinement un rôle de protection du milieu tout en assurant un bon niveau de production⁸. Leur extension et généralisation dans l'espace contribuerait à résoudre les problèmes d'érosion et de baisse des rendements de la production agricole. Malheureusement, les études réalisées par les agronomes du projet Madian-Salagnac montrent une diminution de ces surfaces résidentielles boisées : leur superficie moyenne d'un ha en 1910, est tombée à 4 000 m² en 1930, et ne cessa de se réduire pour passer de 1 000 m² par famille en 1960, à 500 m² en 1970 et 300 m² en 1980.

Ces réductions de surfaces devraient être prises en compte par les projets pour rechercher avec les agriculteurs des voies d'intensification et proposer notamment des variétés améliorées d'espèces fruitières : citrus greffés, avocatiers de contre-saison ; or, les espèces proposées sont essentiellement des essences forestières telles que : *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Leucaena diversifolia* !

Les jardins vivriers clôturés par des haies vives

Ils sont attenants aux « Lacous » et sont cultivés sur la même parcelle en propriété. Ce sont des endroits ayant un bon niveau de fertilité car ils bénéficient de transferts de matières organiques importants grâce au bétail.

Ces surfaces de 300 à 1 000 m² sont occupées par des cultures associées : maïs, haricots, ignames et maraîchage : elles ne sauraient être plantées par les essences forestières citées précédemment. Au plus, pourrait-on proposer des essences susceptibles d'y renforcer les haies vives.

6. Espace rural et sociétés agraires - in recherches Haïtiennes n° 2 - décembre 1980 Port au Prince - Institut Français d'Haïti .

7. N. Garrigue - Etude des jardins boisés dans le bassin de petite Rivière de Nippes Haïti - Montpellier - CNEARC - septembre 1990 .

8. R. Pierlot - J.L. Sabatier - Jardins agroforestiers du Nord-Vietnam : analyse architecturale et socio-économique - Montpellier - GRET - CIRAD - CNEARC novembre 1991.

Actuellement, c'est dans ces parcelles que sont plantées 50 % des essences forestières proposées par les projets qui entrent ainsi en compétition avec les cultures vivrières.

Les espaces ouverts, communément appelés « terres savanes »

Ce sont des parcelles déboisées, avec un faible degré de sécurité foncière du fait de l'indivision. Elles sont difficiles à surveiller, car éloignées de l'habitat, ce qui favorise généralement le surpâturage du gros et petit bétail et les prélèvements répétés de biomasse.

Les projets interviennent peu sur ces parcelles car, pour réaliser des investissements de type agroforestier, il est indispensable qu'il y ait préalablement des baux à complant entre les différents propriétaires ayant-droit et les exploitants, pour redéfinir les conditions de mise en valeur et pour sécuriser les investissements des acteurs.

Les ravines ou « fonds frets »

Ce sont des endroits qui ont conservé, malgré les phénomènes de dégradation, d'assez bonnes potentialités, car ils allient de bonnes ressources hydriques et une fertilité correcte grâce aux accumulations de colluvions et de matières organiques.

Ces zones sont à aménager en priorité car ce sont de petits oasis propices à l'intensification. S'il n'y avait pas de difficultés de surveillance à cause de l'éloignement des habitations, ces sites pourraient être cultivés comme les vergers mixtes et les jardins vivriers dans les aires résidentielles.

Les racks

Les Racks-bois sont généralement des zones de recrû ligneux s'apparentant à du maquis. Les principales essences sont le bayahonde (*Prosopis juliflora*), le bois cabrit (*Cassia émarginata*), le campêche (*Haematoxylum*) et le goyavier pour les zones de moyenne altitude.

Ce sont des terres indivises, parfois gérées communautairement sur des sols peu profonds (rendzines, encroûtements calcaires), exploitées par des charbonniers et des éleveurs de chèvres et de bovins. Ces racks représentent des espaces relativement importants et constituent dans les terroirs des espaces pionniers ou des zones de parcours et de prélèvements de bois pour les communautés : ils correspondent aux zones sylvo-pastorales et nécessiteraient des aménagements en tant que tels.

Alors que la plupart des projets proposent des essences forestières dans les zones de cultures décrites précédemment, ils devraient en priorité travailler sur ces espaces pour tenter d'y améliorer les productions de bois et les ressources fourragères, en multipliant et diffusant, par exemple, des essences locales comme le bois d'orme (*Guazuma ulmifolia*) très apprécié du bétail.

Malheureusement, ces espaces sont souvent les moins accessibles, donc moins spectaculaires. Cependant, ils sont importants pour la régulation de la conduite des élevages et pour la gestion des transferts de fertilité à l'échelle du terroir.

Il est vrai que leur statut foncier (fort pourcentage d'indivision), et leur mise en valeur par plusieurs catégories d'acteurs (charbonniers, éleveurs, paysans recherchant de la terre) font que les modalités d'intervention y seront forcément complexes et nécessiteront de perpétuelles négociations.

Comme nous venons de le décrire brièvement, au niveau d'un même finage, tous ces paysages sont présents. Il faut de plus tenir compte du gradient altitudinal et de l'exposition des versants, et savoir qu'en Haïti, les agriculteurs cultivent, dans des conditions de tenure variées, des micro-parcelles dans chacune de ces situations.

Face à cette diversité de situations, on est surpris de constater que la plupart des projets, faute d'un diagnostic préalable, ne modulent pas leurs programmes d'aménagements et de reboisements en fonction des paysages, et des systèmes de cultures et d'élevage.

LE DIAGNOSTIC AGROPÉDOLOGIQUE

Un tel diagnostic est indispensable pour permettre une bonne adéquation des espèces plantées avec l'écosystème environnant.

Mettre en place une culture pérenne implique des conséquences sur le long terme qui se révèlent coûteuses lorsque l'on se trompe d'espèces ou de variétés.

Lorsque l'on a choisi la parcelle et le type de peuplement que l'on souhaite mettre en place, il reste en effet à trouver l'espèce ou la variété la mieux adaptée au sol, au climat et au système de culture.

Le sol

On constate en Haïti que, malgré les conditions sévères de déforestation, il y a des zones qui restent mieux boisées que d'autres : les ravines, les sols bruns calcimagnésiens sur calcaires marneux et les vertisols.

D'une manière générale, ce sont les sols qui présentent de bonnes réserves hydriques.

Des profils pédologiques et l'observation des formations arbustives devraient être des préalables indispensables à tout programme agroforestier afin d'avoir des informations sur la profondeur des sols, la nature de la roche mère et sa pédogenèse. Ainsi, on ne trouverait pas d'Eucalyptus végétant sur des régosols ni d'Anacardiens plantés dans des bas-fonds avec risques d'hydromorphie prolongée.

Le climat et l'altitude

En situation insulaire, il y a une très grande diversité de micro-climats qui se combinent avec les gradients altitudinaux.

Ainsi, au-delà de 500 à 600 mètres d'altitude, les manguiers ne fructifient plus ; et pour réaliser des haies vives, on préférera par exemple, l'Hibiscus au *Glyricidia sépium* dont la croissance devient très lente.

L'observation et le recueil des expériences des paysans sont alors de la plus grande utilité.

Les systèmes de culture

Les cultures associées sont des pratiques très répandues en Haïti ; il faut donc discerner les variétés à planter impérativement en lisière de parcelles et les essences qui peuvent être complantées avec une densité appropriée dans des parcelles destinées aux cultures annuelles.

Ainsi, les Cedrella en altitude et les Tavernon sont deux espèces à bois précieux dont le système racinaire et le feuillage ne nuisent pas aux cultures annuelles de haricots ou d'ignames alors que l'acajou concurrencerait sévèrement ces mêmes cultures.

Les paysans connaissent généralement bien les propriétés et comportements de ces arbres et ils acceptent volontiers de les planter.

Dans les programmes agroforestiers, les arbres fourragers sont généralement peu diffusés alors qu'ils pourraient améliorer les ressources alimentaires pour les animaux en période de soudure.

Compte tenu de tous les paramètres agro-écologiques qui viennent s'ajouter à la diversité des systèmes de culture, on ne comprend pas pourquoi, dans presque toutes les situations de projet, on ne propose aux paysans qu'une demi-douzaine d'espèces pour réaliser des aménagements agro-forestiers quand ce n'est pas une ou deux seulement comme au Rwanda et au Burundi.

On peut considérer que les cinq espèces suivantes : *Azadirachta indica*, *Eucalyptus Camaldulensis*, *Leucaena diversifolia*, *Cassia siamea* et *Casuarina equisetifolia* ont représenté 60 % des 50 millions de plantules distribuées en 10 ans par un des plus importants projets

d'Haïti⁹, bien que ce dernier ait progressivement fait un effort pour intégrer des essences locales dans ses programmes de pépinières.

Il faut donc se demander pourquoi ne profite-t-on pas plus de la diversité biologique pour cette science des localités qu'est l'agriculture ?

Un premier élément de réponse vient du caractère bureaucratique des systèmes de vulgarisation qui ne sont pas l'exclusivité de Haïti.

En effet, pour contrôler et gérer des services de vulgarisation, on simplifie, on normalise les tâches et les programmes. Outre l'aspect coûteux de ces dispositifs de vulgarisation, ils ne sont pas à l'évidence compatibles avec la créativité nécessaire pour réaliser ces types d'aménagements.

LES CONDITIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES REQUISES POUR L'AMÉNAGEMENT DES BASSIN-VERSANTS ET L'INSTALLATION DE SYSTÈMES AGRO-FORESTIERS

Nous avons montré concrètement que, faute de diagnostic précis sur les systèmes de culture et d'élevage, les démarches des projets étaient peu appropriées pour initier avec succès des aménagements de types agroforestiers. Cependant, en supposant que ces hypothèses soient levées, on comprend que de tels aménagements ne peuvent être imposés par une structure extérieure

Outre les capacités professionnelles requises pour les cadres et techniciens, il faut que ces aménagements représentent un réel intérêt pour que les agriculteurs participent avec responsabilité et créativité à leur gestion.

Malheureusement, le plus souvent, les cadres et les techniciens tiennent un discours qui relève d'une idéologie environnementaliste : il faut protéger la nature et les sols de l'érosion en pratiquant des aménagements de bassins versants avec des structures physiques ou biologiques. A la limite, il faut mener ces actions malgré les paysans, d'où :

- les politiques coercitives de taxation et de mise en défens ;
- les programmes de plantations d'arbres « indestructibles » comme l'Eucalyptus ;
- les réalisations de diguettes et de canaux de contour à marche forcée.

La recherche de référentiels techniques est certes passionnante compte tenu de la grande diversité des conditions de milieu et des matériels biologiques. Les exemples Indonésiens, Vietnamiens ou Cévenoles nous montrent des systèmes de culture performants, économes et « soutenables » dans des contextes climatiques agressifs. Cependant, bien qu'ils soient séduisants, ils ne sont que des « modèles » techniques.

La question de fond est de savoir :

- Comment, dans le contexte actuel, installer un système de culture agroforestier avec et pour une paysannerie en crise ?
- Comment investir sur le moyen terme alors que beaucoup de paysans ont déjà des difficultés avec leurs budgets hebdomadaires ?
- Comment passer des systèmes d'élevages avec des pratiques agro-pastorales sur jachères, mettant à mal toutes les tentatives d'embocagement, à des systèmes d'élevage en stabulation progressive ayant une sécurité d'affouragement et une régularité d'abreuvement ?
- Enfin, en tenant compte des différents statuts fonciers, généralement peu favorables aux investissements, comment favoriser la conception et l'élaboration de nouveaux contrats sociaux pour permettre de nouvelles modalités de gestion du milieu ?

En Haïti, au Centre de Salagnac, un projet d'aménagement intégré de bassins versants, le PRATIC¹⁰ a conduit des « expérimentations négociées » avec des groupes d'agriculteurs. L'ensemble des questionnements exposés ci-dessus émergent du quotidien des actions conduites avec ces agriculteurs.

Les résultats sont clairs et sans ambiguïté : lorsque les agronomes du projet tiennent un discours sur la protection de l'environnement et sur l'aménagement des bassins versants, les paysans répondent à leur manière : « développement »¹¹.

Grâce à l'analyse des pratiques et des stratégies de ces agriculteurs face aux protocoles d'aménagements qui leur sont proposés, il est possible de dégager les principaux moyens et conditions nécessaires à l'évolution et la transformation de leurs systèmes agraires vers ces référentiels agroforestiers¹².

La gestion différenciée de l'espace est une constante à respecter : cependant les stratégies des aménageurs et des agriculteurs sont souvent contradictoires.

En matière d'aménagement, les agriculteurs n'accordent pas le même intérêt à toutes leurs parcelles ; ils font généralement porter leurs efforts en priorité sur celles qui ont conservé les meilleures potentialités et ils réaliseront des aménagements plus légers et demandant moins de travail sur celles qui sont moins productives et souvent les plus fragiles vis-à-vis de l'érosion.

Les projets ont souvent une approche inverse : ils veulent « corriger » les effets de l'érosion sur des parcelles dégradées sans étudier la productivité du travail et la rentabilité des investissements. Cependant, le principe à mettre en application consiste à améliorer les rendements sur les surfaces ayant les meilleures potentialités pour diminuer les prélèvements sur les zones fragiles.

La gestion différenciée de l'espace nécessite d'individualiser les parcelles, notamment vis-à-vis de la conduite du bétail. L'enclosure ou la stabulation semi-permanente doivent donc être envisagées : ce sont des changements qui entraînent de nombreuses modifications des systèmes d'élevage. Le projet de Salagnac, en construisant des citernes pour l'abreuvement du bétail, a commencé à introduire des éléments de changement pour la conduite du bétail.

La gestion différenciée de l'espace a également pour conséquence que les agriculteurs ont besoin d'avoir accès à toutes les catégories de parcelles qui, en réalité, présentent des complémentarités pour la gestion des systèmes de production. Or, sous prétexte de rationaliser les contenus de la vulgarisation, certains projets proposent des remembrements identiques aux zones de « paysannat » du Rwanda qui vont tout à fait l'encontre d'une gestion diversifiée du milieu.

L'intensification de la production nécessite un système de crédit performant et une assurance minimale contre les risques climatiques.

Afin de diminuer les prélèvements vivriers sur les zones fragiles, l'intensification des productions s'impose dans les zones ayant de bonnes potentialités.

Les principales techniques pour l'amélioration des rendements consistent à :

- utiliser des variétés améliorées à cycles courts ;
- utiliser prioritairement des fumures organiques ;
- utiliser de manière raisonnée, des fertilisants et des produits de traitements phytosanitaires.

10. M. Brochet - Projet de recherche appliquée sur l'aménagement intégré des terroirs insulaires Caraïbes - Rapport de mission - Paris Ministère de la Coopération - juillet 1990.

11. St-Jules Claucy, agriculteur à Salagnac : interview rapport de stage ANDAH-AUPELF - Mai 1991.

12. B. Smolkowski - L'aménagement de bassins versants : quelles stratégies pour Haïti ? - Mission française de coopération en Haïti - Avril 1989.

L'ensemble de ces dépenses représente une avance de trésorerie pour laquelle la majorité des agriculteurs haïtiens doit avoir recours au crédit.

Enfin, quand toutes ces actions sont engagées, un déficit hydrique, même passager, risque de compromettre les recouvrements des investissements.

Il faut donc sécuriser ce nouveau système de culture par une irrigation d'appoint.

C'est ainsi que les projets PRATIC et Salagnac, au lieu de consacrer tous les crédits dans la lutte contre l'érosion en réalisant des structures d'infiltration pour les eaux de ruissellement, ont préféré construire des citernes¹³ et de petites retenues collinaires pour stocker et différer l'emploi de ces eaux de surface à des irrigations d'appoint, permettant ainsi de sécuriser les cultures maraîchères rentables pour les agriculteurs.

Pour réaliser des aménagements efficaces, il faut conduire simultanément plusieurs politiques dont les effets sont complémentaires et différés dans le temps.

Les projets de lutte contre l'érosion et les actions de reboisement n'ont pas d'effets immédiats sur l'amélioration des revenus de l'agriculteur à moins qu'il ne bénéficie d'un salaire. Ces actions revêtent des objectifs à caractères généraux tels que le rechargement des nappes phréatiques, la protection des infrastructures en aval... bref, peu de résultats susceptibles de motiver, dans l'immédiat, les agriculteurs qui se débattent avec des problèmes de décapitalisation et de famine.

En ce qui concerne la participation et l'intéressement des paysans, il y a souvent confusion entre les tâches destinées aux aménagements d'intérêt général pour la collectivité (infrastructures routières, exutoires...) pour lesquels il faut rémunérer le travail, et celles qui relèvent de la seule responsabilité de l'agriculteur sur sa parcelle.

Les reboisements ont des impacts souvent trop différés dans le temps. C'est pourquoi il faut chercher à raccourcir les délais en pratiquant par exemple, en arboriculture fruitière, le surgreffage, et en menant de front des améliorations dans les cultures vivrières. Les baux à complants ou agro-arboricoles concilient très bien les intérêts à court et moyen termes.

Les aménagements agroforestiers doivent s'inscrire dans des filières technologiques et commerciales complètes et cohérentes.

En ce qui concerne les filières technologiques deux aspects sont insuffisamment développés :

- l'outillage pour la taille, le greffage, la conduite des arbres, et la récolte des fruits, n'est pas étudié et adapté. On se contente trop souvent de la seule machette ;
- la transformation des fruits et des bois est également insuffisamment développée. Ce sont pourtant des aspects essentiels pour élargir les débouchés et récupérer de la valeur ajoutée.

Enfin, les routes d'accès pour les transports des fruits qui sont des produits pondéreux et périssables sont des aménagements déterminants pour la mise en marché.

Tous ces aspects que nous venons d'exposer font partie des moyens et conditions du développement dont les agriculteurs haïtiens ont besoin pour gérer leurs terroirs de manière reproductible sans être obligés d'entamer leur patrimoine pour survivre.

La gestion de la fertilité, la gestion conservatoire des eaux, l'agroforesterie, bref l'environnement sont des thèmes actuels susceptibles de relancer les utopies des pays industrialisés pour renouveler les aides au développement.

Cependant les expériences conduites en Haïti montrent bien les limites des approches sectorielles dans ces domaines. Des efforts de recherche importants restent à entreprendre pour comprendre quels ont été les conditions et les facteurs qui ont présidé aux transformations et à l'évolution de systèmes agraires agroforestiers anciens dont nous pourrions nous inspirer.

13. Centre de Madian-Salagnac - Amélioration des conditions d'approvisionnement en eau dans le cadre de l'exploitation agricole - Port au Prince - Mission française de coopération en Haïti - 1980.

PROBLÉMATIQUE DE LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION HYDRAULIQUE SUR L'ILE D'ANJOUAN (COMORES)

Mohamed Bacar DOSSAR

PROBLÉMATIQUE DE L'ÉROSION À ANJOUAN

Le facteur relief

Les îles Comores comme la plupart des autres îles de l'Océan Indien sont d'origine volcanique.

Il est couramment admis suite aux travaux du géologue J. DE SAINT-OURS que les Comores ont commencé à être édifiées à la fin du Tertiaire (Miocène). Cette édification se serait produite en trois phases. La première dite de volcanisme inférieur, au Miocène-Pliocène, correspond à l'édification de volcans boucliers basaltiques de type hawaïen. La seconde, dite de volcanisme intermédiaire, au Pliocène, aurait ajouté des nouvelles structures ; cette phase se serait prolongée au début du Quaternaire. Vraisemblablement au cours de cette phase, Anjouan et Mohéli se modifient et s'augmentent, respectivement ;

- des trois pointes de Jîmilimé, Nioumakélé et Sima à Anjouan (Fig. 1) ;
- du plateau de Djandro à Mohéli.

La troisième phase, qui se prolonge encore en Grande Comore, est celle dite de volcanisme supérieur. Elle est marquée par des manifestations stromboliennes. Elle est à l'origine des coulées actuelles et récentes ainsi que des pouzzolanes.

Cette activité volcanique aboutit à quatre types de relief.

Le premier de ces reliefs n'est présent qu'à la Grande Comore : c'est celui qui caractérise les dômes du « Karthala », volcan encore en activité, et celui de la « Grille », massif sans activité volcanique. Cette construction de dômes surbaissés correspond à la phase volcanique supérieure.

Le deuxième type de relief se trouve représenté dans le « Badjini » (massif Sud de la Grande Comore), dans la partie orientale de Mohéli (plateau de Djandro), dans les trois pointes d'Anjouan et dans deux petits reliefs de Mayotte (îlots de Pamandzi, et relief sur lequel s'appuie le village de Mamoudzou).

Si ces reliefs sont déjà marqués par l'érosion, leurs formes restent cependant massives. Ils correspondent à la phase volcanique intermédiaire.

Au troisième type de relief, il faut rattacher la chaîne centrale de Mohéli et son prolongement occidental, ainsi que le massif central d'Anjouan. Ce type de relief ne se rencontre ni à la Grande Comore, ni à Mayotte. Les formes restent jeunes mais ont déjà une allure « alpine » : « arêtes aiguës, bassin de réception de torrents en pentes subverticales [...], vallées profondes ».

Le quatrième type de relief est celui de « maturité » des formes où « les différences de reliefs sont dues à la différence de résistance des roches à l'érosion ».

Au cours des périodes de repos qui s'intercalent entre les périodes de volcanisme actif, les cirques du centre d'Anjouan (cirques de Patsy et Bambao M'trouni) sont dûs probablement à des mouvements tectoniques ; effondrement ou explosion (Fig. 1).

La combinaison de ces phases volcaniques, ainsi que des différents types de reliefs qui en résultent, a donné des allures générales différentes aux îles Comores selon que l'on considère

la Grande Comore ou Anjouan et Mohéli. La Grande Comore apparaît massive avec des pentes relativement douces alors qu'Anjouan et Mohéli présentent une allure tourmentée. Les conséquences sur la susceptibilité de ces îles à l'érosion est considérable.

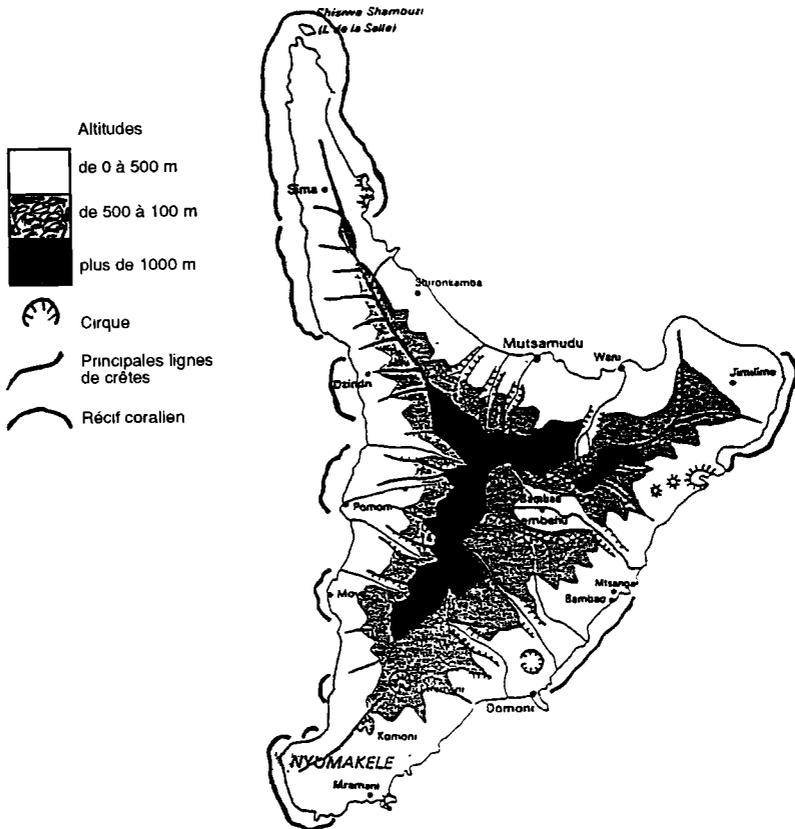
Les autres facteurs contribuant à l'érosion sur l'île d'Anjouan

Le relief à lui seul ne permet pas d'expliquer l'ampleur du phénomène d'érosion sur l'île d'Anjouan. Il faut aussi considérer :

- une pluviométrie importante, jusqu'à 3 200 mm sur les versants au vent, caractérisée par des précipitations violentes ;
- une température moyenne annuelle de 25° C à proximité de la mer, avec un maximum à 32° C pendant la saison chaude et un minimum de 19° C pendant la saison sèche ;
- des sols volcaniques ayant subi les processus d'altération et l'abondance des sols bruns vertiques à argiles gonflantes ;
- une densité de population importante, 470 habitants au km² en moyenne à Anjouan avec des pointes de 800 habitants/km² dans la région de Nioumakélé. Cette forte densité est accompagnée d'une très rapide croissance démographique (3,2 % par an) ;
- une pratique agricole traditionnelle basée sur la jachère et le brûlis.

Les conséquences de la forte pression démographique et de la pratique agricole traditionnelle sont la recherche de nouvelles terres de culture se traduisant par le déboisement des terres les plus sensibles à l'érosion et la quasi-disparition de la jachère.

Figure 1 : Carte : Le relief d'Anjouan



Interaction entre démographie et érosion

En dehors des facteurs physiques liés aux conditions morpho-pédologiques et climatiques de l'île, l'inadaptation des pratiques culturelles traditionnelles, par suite de l'explosion démographique, est certainement le facteur le plus déterminant dans la problématique de l'érosion hydrique à Anjouan.

En effet l'île de Mohéli, dont nous avons vu que le faciès est semblable à celui d'Anjouan, reste peu affectée par l'érosion du fait de sa faible densité de population (89 habitants au km² contre 470 habitants à Anjouan), malgré que dans cette île aussi les pratiques traditionnelles aient peu évolué.

La pression démographique ne peut, intrinséquement, être considérée comme responsable de l'érosion, mais jouerait plutôt ce rôle dans des situations où la pratique agricole traditionnelle n'a pas évolué au même rythme que la population, ou n'a pas eu le temps de s'adapter à la nouvelle situation créée par l'explosion démographique. Il s'agit donc d'une situation de rupture d'équilibre.

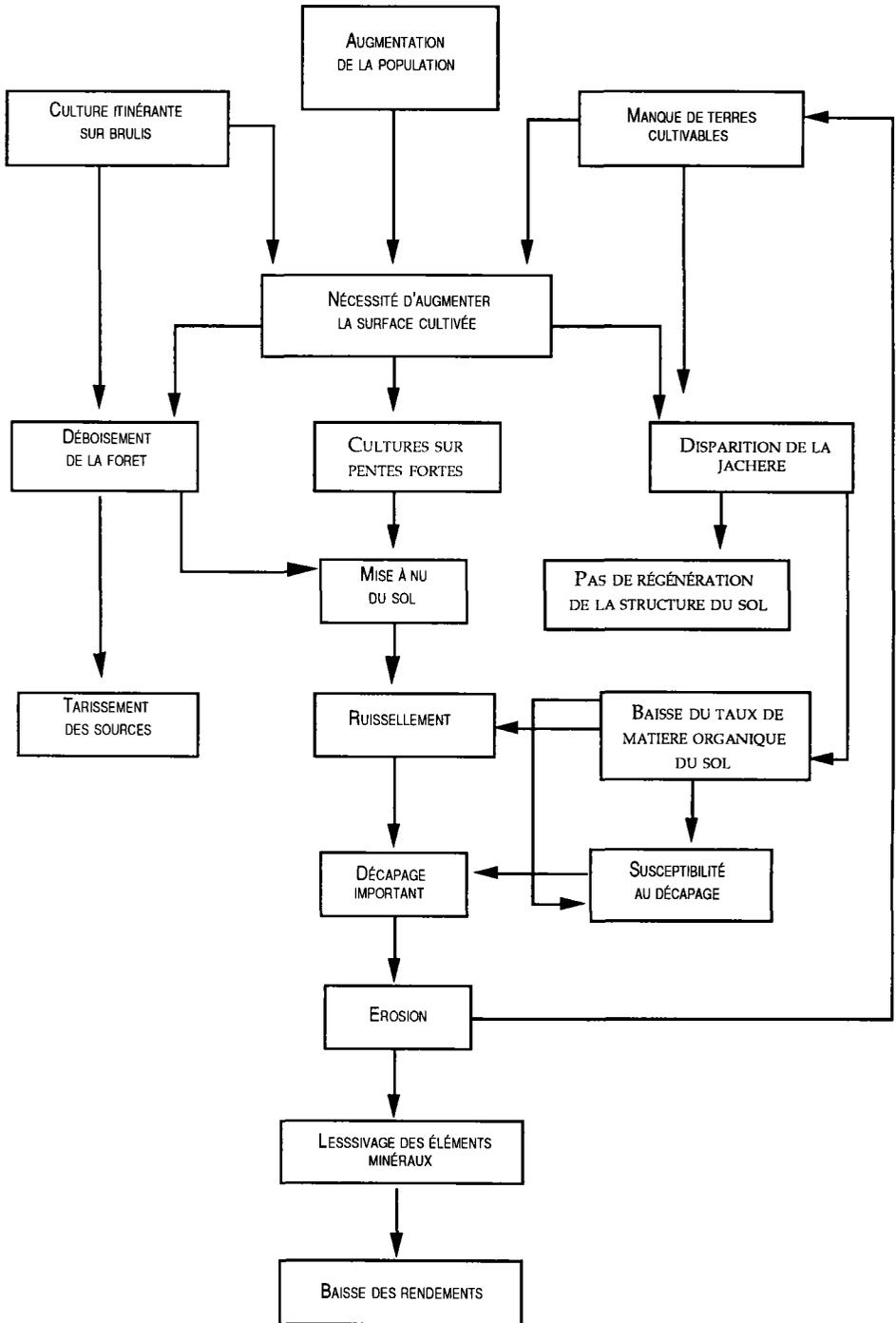
Dans le cas d'Anjouan, (Fig. 2), la conséquence immédiate de la pression démographique et de la pratique culturelle traditionnelle est la nécessité d'augmenter les surfaces cultivées dans un contexte de manque de terre.

Il en résulte donc une mise en culture des terres marginales : forêts et pentes fortes, ainsi que la disparition de la jachère. Les terres sur pentes fortes étant mises à nues et soumises au brûlis, sont rapidement sous l'emprise du ruissellement et du décapage.

La disparition de la jachère prive le sol de son système traditionnel de régénération. Le sol privé de son humus voit sa capacité de rétention en eau diminuer tandis que le ruissellement s'accroît.

La principale conséquence de l'érosion est la baisse de la fertilité des terres cultivées donc la chute des rendements qui entraîne la pauvreté des populations rurales. Il s'agit d'un cercle vicieux dans lequel érosion et pauvreté s'alimentent mutuellement.

Figure 2 : Interaction entre démographie et érosion



ÉVOLUTION DES INTERVENTIONS EN MATIÈRE DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION À ANJOUAN *(Tableau)*

La lutte contre l'érosion est relativement récente aux Comores. Les premières interventions datent des années 50, juste après le grand cyclone qui avait ravagé toute l'île. Déjà à cette époque le Bureau pour le Développement de la Production Agricole (BDPA) lançait un paquet technique basé sur des terrasses radicales et des Lignes Anti-Erosives (LAE). Le BDPA vulgarise aussi des étables fumières et le maraîchage.

L'approche reste très volontariste et basée sur quelques paysans pilotes. Les terrasses radicales et les étables fumières ne sont que faiblement adoptées par les paysans. Les terrasses radicales sont trop difficiles à construire. Les étables fumières exposent le bétail au vol quand elles sont en plein champ ou impliquent que le paysan transporte le fumier vers son champ quand elles sont dans le village. La terrasse radicale peut dans certaines situations de sols peu profonds faire apparaître l'horizon B peu fertile. Le maraîchage se heurte aux habitudes alimentaires et aux problèmes de commercialisation.

Cependant cette action initiale met au point bon nombre de thèmes techniques qui sont à la base de la modification du paysage à Nioumakélé (appropriation et adoption progressives des techniques par les paysans).

Vers les années 80, le Centre Fédéral d'Appui au Développement Rural (CEFADER), avec ses structures décentralisées au niveau des régions, les Centres d'Appui au Développement Rural (CADER), débute des interventions au niveau des Sites de Développement Intensif (SDI).

L'objectif du SDI est surtout démonstratif : il s'agit de concentrer l'intervention au niveau d'un bassin versant afin qu'elle ait la visibilité suffisante qui amènera à l'adoption de ses différentes composantes par les agriculteurs.

Cette politique, quoique évitant un certain saupoudrage des interventions, est restée essentiellement centrée et limitée à la DRS.

Les techniques de l'agroforesterie vont finalement être introduites avec la culture en couloir et l'embocagement.

Toutes les actions sont largement supportées par le Programme Alimentaire Mondial (PAM). L'intervention du PAM dans le programme de reboisement et de lutte contre l'érosion va induire un énorme malentendu entre techniciens et paysans, ceux-ci ayant tendance à se considérer comme des ouvriers du CADER. La gestion des vivres PAM est lourde et délicate. Une évaluation de l'impact de la distribution de vivres tels le riz, l'huile, les sardines, le maïs etc. sur la production vivrière locale n'a jamais été faite.

Chaque CADER possède une équipe de vulgarisateurs agricoles. Le niveau de formation de ces agents, leurs relations avec les paysans, leur niveau de connaissance du milieu paysan vont jouer un rôle considérable dans le degré d'adoption des thèmes vulgarisés.

La distribution du matériel végétal (boutures, semences et plants) ainsi que des intrants agricoles reste concentrée au niveau des CADER.

Vers 1989-90, on commence à se poser des questions sur la lenteur de la diffusion des actions entreprises au niveau des SDI. La question de la « durabilité » des interventions est posée. Les premières évaluations vont permettre de réviser la méthodologie.

Actuellement les orientations principales vont vers une meilleure prise en compte des besoins exprimés par les paysans. Il convient de placer la lutte contre l'érosion dans une approche globale qui prend en compte les éléments essentiels du terroir villageois, c'est-à-dire aussi bien les champs que la forêt ou le boisement, et les ressources en eau. Il faudrait trouver le moyen de réconcilier l'élevage et le reste des activités agricoles.

L'approche recentrée sur l'homme et son milieu devrait se préoccuper de la production mais aussi de l'amont de la production (intrants, crédits...) et de l'aval de la production (transformation, commercialisation...).

Tableau : Évolution des interventions en matière de lutte contre l'érosion à Anjouan

Années	Acteurs	Approches méthodologiques	Éléments du paquet technique
1950-1960	BDPA et Services de l'agriculture	Paysans pilotes, Coopératives	<ul style="list-style-type: none"> - Terrasse radicale - Lignes anti-érosives (LAE) - Étables fumières - Maraichage
1982	CEFADER / CADER et Projets agricoles	Vulgarisation au niveau des sites de développement intensif	<ul style="list-style-type: none"> - Défense et restauration des Sols (DRS)
1989-1993	Projets	Comités de sites, vulgarisation. Intégration sectorielle	<ul style="list-style-type: none"> - DRS - Fertilisation - Embocagement - Agroforesterie
1994-	Projets	Participation communautaire, Intégration spatiale	<ul style="list-style-type: none"> - Plan d'aménagement du terroir villageois

ANALYSE CRITIQUE DES APPROCHES MÉTHODOLOGIQUE ET LES PROBLÈMES RENCONTRÉS

Les paysans pilotes

L'approche basée sur les paysans pilotes part du principe selon lequel dans une communauté il existe toujours des leaders et des progressistes qui adhèrent aux innovations avant les autres. Cette approche a évidemment l'avantage de permettre de concentrer les efforts sur les éléments les plus dynamiques de la communauté.

Le danger réside dans le risque qu'il y a de « déconnecter » ces leaders du reste de la communauté, pour en faire finalement des marginaux.

En fait, si l'expérience réussit, ils sont enviés ; si elle rate, ils sont plaints ou deviennent la risée du village.

En outre en matière de lutte contre l'érosion il est difficile techniquement d'isoler une parcelle du bassin versant.

Les SDI (Bassin versant ou Site de Développement Intensif)

En concentrant l'action au niveau du bassin versant, les contraintes techniques liées à la nécessité de considérer l'ensemble du bassin versant sont levées. Cependant il reste que tous les problèmes qui ne sont pas directement et physiquement présents dans le bassin versant sont ignorés par l'intervention.

En outre la préoccupation majeure reste la lutte contre l'érosion, les autres problèmes liés à la gestion globale du terroir ne sont pas abordés. Il se pose alors, étant donné que forcément la participation communautaire sera limitée, le problème de la « durabilité » des actions.

Gestion du terroir

Cette approche globale recentre l'action sur l'homme et son milieu. Du fait de sa globalité, elle est complexe et nécessite donc une équipe pluridisciplinaire et des ressources financières conséquentes.

LES OBSTACLES DE LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION

- a) *Le problème foncier* : A Anjouan il n'existe pas de cadastre digne de ce nom. D'ailleurs s'il devait être réalisé il soulèverait de nombreux problèmes dont une grande partie viendrait des paysans eux-mêmes.
Beaucoup d'agriculteurs occupent des parcelles qui ne leur appartiennent pas ou dont ils ne sont pas sûrs de toujours garder la jouissance : terres de métayage, réserves villageoises distribuées par les autorités, terrains domaniaux occupés, etc. Dans cette situation on voit mal l'agriculteur consentir à des efforts d'aménagement.
- b) *L'élevage* reste marginal par rapport aux autres activités agricoles avec lesquelles il entre souvent en concurrence. Il y a souvent divagation du bétail qui peut alors détruire les cultures.
- c) *Le Programme d'Ajustement Structure* négocié par le gouvernement avec le FMI et la Banque Mondiale implique une réduction des effectifs des fonctionnaires dans tous les Ministères y compris et surtout celui de l'agriculture.
- d) *Les intrants agricoles* (outils agricoles, engrais, produits phytosanitaires) sont trop taxés à l'entrée du pays et sont mal distribués. C'est le CEFADER qui a assuré ce rôle, jusqu'alors, avec les dons reçus de la Coopération Internationale.
- e) Il n'existe aucun institut de recherche agronomique qui pourrait permettre d'avancer dans le domaine de l'analyse des terroirs locaux.

On pourrait encore ajouter de nombreux autres problèmes et obstacles tels que :

- la concurrence entre produits vivriers et denrées importées ;
- la nécessité de reconvertir les terres consacrées aux principales cultures, d'exportation que la chute des cours pousse les paysans à éliminer. Le giroflier pose un sérieux problème en matière de reconversion des terres sur lesquelles il était installé.

CONCLUSION

Malgré le caractère d'urgence qu'elle peut revêtir, la lutte contre l'érosion est à replacer dans une approche globale et intégrée. Il convient que les paysans soient convaincus que nous autres, techniciens, agronomes et chercheurs, nous nous préoccupons de leurs vrais problèmes. Ce n'est que par un dialogue permanent qu'on y arrivera. D'ailleurs n'est-ce pas une marque de respect que de donner la parole à ceux dont les intérêts vitaux sont en jeu ? Accepter à chaque fois de nous remettre en question est une marque d'humilité et d'intelligence.

FLEUVES ET RIVIÈRES DE MADAGASCAR RELATION AVEC L'ENVIRONNEMENT

Pierre CHAPERON

Les problèmes de l'environnement sont à l'ordre du jour, et de façon pressante, tant est aiguë la prise de conscience, amplifiée par les médias, des modifications à l'échelle planétaire, et à un rythme jusqu'ici inconnu, entraînées par l'explosion des activités humaines.

D'une façon classique, la notion d'environnement est largement anthropocentrée ; il s'agit de la représentation que se fait l'homme de ses rapports avec son (ou plutôt ses) biotope et des modifications positives ou négatives, réversibles ou irréversibles, apportées au milieu naturel, inerte ou vivant, par les aménagements qu'il met en œuvre pour la satisfaction de ses besoins.

Le concept d'environnement peut cependant être élargi à l'ensemble des organismes vivants (mais évidemment sans prise de conscience) puisque dès l'apparition de la vie sur notre planète, il n'est pas d'organisme (qu'il appartienne au règne animal ou végétal) qui n'ait pas modifié — et qui continue à le faire — ses biotopes, créant de façon continue des équilibres plus ou moins temporaires avec ses commensaux : colonisations, tentatives d'extinction des espèces concurrentes, exploitation éventuelle des espèces utiles sont les lois de la nature depuis l'origine de la vie.

Il n'est pas jusqu'au monde physique qui ne connaisse une évolution continue, à une autre échelle de temps bien entendu. Les climats n'ont cessé de changer : refroidissement et réchauffement en alternance, les matériaux géologiques eux-mêmes échappent à l'immuable : mouvements tectoniques, éruptions, sédimentations, métamorphismes.

Cette évolution interactive concerne donc l'ensemble de notre milieu global, la planète Terre et cette ronde incessante des cycles biogéochimiques a pu susciter le concept d'une recherche instinctive (boucle stabilisante) des conditions les plus favorables à la reproduction et au développement des organismes vivants : la théorie de « Gaia » (LOVELOCK, 1987, cité par J.C. DUPLESSY et P. MOREL, in : « Gros temps sur la planète », 1990).

C'est dans cet esprit que je présenterai, en premier lieu, les relations des systèmes aquatiques continentaux (fleuves et rivières) avec leur environnement, puis, les relations des hommes avec cet élément essentiel de leur environnement, les systèmes aquatiques. Cela dans le cadre géographique malgache, en m'appuyant sur une synthèse hydrologique récente « Fleuves et Rivières de Madagascar » (ORSTOM-DHM-CNRE, 1993).

LES SYSTÈMES AQUATIQUES CONTINENTAUX ET LEUR ENVIRONNEMENT

Les bassins versants des cours d'eau sont des unités fonctionnelles naturelles (parfois modifiées par les activités humaines, ce que nous verrons dans la deuxième partie de cet exposé) organisées en système complexe.

Au « signal » d'entrée constitué par les précipitations, transformé par les interactions des différents facteurs conditionnels de l'interface de réception et de son environnement climatique, correspond un « signal » de sortie, décrit par les caractéristiques du régime hydrologique : apports annuels moyens (et leur variabilité inter-annuelle), distribution saisonnière des écoulements, débits maximaux de crue (moyennes et paroxysmes) et débits minimaux de basses eaux (moyennes et paroxysmes).

Les régimes hydrologiques sont par conséquent nettement régionalisés selon la distribution géographique des facteurs conditionnels climatiques et physiographiques.

Les facteurs conditionnels climatiques et physiographiques sont déterminés par la situation de l'île de Madagascar en regard des grands centres d'action météorologiques du sud-ouest de l'Océan Indien, ainsi que par la distribution des grands ensembles géomorphologiques, orographiques, pédologiques et végétaux. Ces facteurs conditionnels, s'il est souvent possible de reconnaître leur influence spécifique sur les régimes des cours d'eau, sont en grande partie interdépendants.

Les précipitations, pour leur abondance et leur irrégularité inter-annuelle ainsi que pour leur distribution dans l'année, dépendent avant tout de l'activité des grands centres d'action météorologique : cellule océanique de hautes pressions de l'Océan Indien et zone de basses pressions intertropicale, puis secondairement les perturbations d'origine polaire. Mais la répartition spatiale des précipitations est fortement influencée par l'orographie. Les alizés de secteur est affrontent transversalement Madagascar et réagissent en fonction des différentes lignes de relief qu'ils rencontrent. Au contact de la côte orientale, l'arrivée du flux d'alizés détermine une abondante pluviométrie qui s'atténue légèrement sur les cinquante kilomètres de l'étroite plaine littorale. La première ligne de falaises, plus ou moins continue, entraîne un soulèvement des masses d'air humide et une recrudescence très nette de la pluviométrie ; puis, cet obstacle franchi, la diminution des précipitations est très sensible. Brutal sur les dépressions orographiques situées « sous le vent » de la ligne de falaises ou des premiers massifs (dépression de l'Alaotra-Mangoro, contreforts ouest de l'Anosy, etc.) où l'on observe des gradients décroissants rapides, cet effet est plus progressif sur les hauts-plateaux et les régions sédimentaires de l'ouest. Mais dans ces zones, on peut observer des remontées sensibles de la pluviométrie au niveau des zones de reliefs, qu'elles soient importantes (Tsaratana, Ankaratra, Andringitra) ou beaucoup plus modestes (Tampoketsa du KAMORO ou falaises du BEMARAHA dans l'ouest, par exemple). Les apports d'air humide venant de l'ouest (contre-alizée au nord de MAHAJANGA) ou du sud (invasions polaires) viennent compliquer ce schéma.

Les températures (qui, avec l'humidité de l'air) déterminent principalement la reprise potentielle par évapotranspiration sont assez directement liées à l'altitude, beaucoup plus qu'à la latitude. Relativement modérées sur la côte est (20 à 25°C en moyenne annuelle) en raison de l'influence maritime, elles s'abaissent sensiblement sur les hauts-plateaux (moins de 20°C) en raison de l'altitude moyenne supérieure à 1 000 m et encore davantage sur les grands massifs. L'effet de continentalité, renforcé par l'effet de fœhn, à peine modéré par la proximité du canal de Mozambique, est sensible à l'ouest et au sud de l'île, où, avec des altitudes moyennes beaucoup plus faibles, les températures moyennes annuelles dépassent 25°C. L'évapotranspiration potentielle varie comme les températures, l'évapotranspiration réelle étant évidemment liée aux disponibilités hydriques.

La géomorphologie intervient en second lieu. Les formations géologiques (qui ont déterminé les reliefs : mouvements tectoniques, résistance des roches à l'érosion, etc.) peuvent, lorsqu'elles ne sont pas ou peu altérées, jouer un rôle direct important sur les conditions de ruissellement : régions cristallines, plus ou moins imperméables du sud de l'île et de certaines parties des bassins des hauts-plateaux, calcaires, parfois karstifiées et grès perméables des bassins du sud-ouest et des bassins inférieurs de l'ouest, sables grossiers des bassins sud, ainsi que formations basaltiques fissurées et perméables de l'ANKARATRA et surtout de la montagne d'Ambre.

Les reliefs (déterminés par les lignes structurales et la nature des formations géologiques), outre leur influence sur les précipitations, jouent un rôle déterminant sur la concentration et la propagation des écoulements en crue. Sur le socle ancien et ses bordures, les pentes des cours d'eau sont généralement fortes et correspondent à des formes de crues aiguës (bassin du TSARATANANA, du sud et de la côte est). Si la pente moyenne des grands cours d'eau

des hauts-plateaux reste forte, l'alternance de rapides et chutes et de biefs tranquilles détermine un amortissement partiel des crues (par exemple : bassin de l'Ikopa). Cet effet sur la forme des crues est encore plus notable dans certaines zones dépressionnaires où peuvent se développer des lacs, étangs et marécages (cuvettes de l'Ankaizina, de l'Alaotra, du Betsiriry, etc.).

Les sols jouent un rôle considérable dans la distribution mensuelle des écoulements et le soutien des étiages. Là où (en raison d'une forte pluviométrie) ils ont pu constituer des formations latéritiques de grande épaisseur (bassins de la côte orientale, et des hauts-plateaux) ils constituent d'importants magasins où peuvent être stockées en saison des pluies des réserves considérables qui fournissent l'essentiel pour le versant occidental ou une bonne partie pour la côte est des écoulements de saison fraîche.

Pour la végétation naturelle, aux influences édaphiques (faciès cristallins, calcaires, sableux, volcaniques, etc.) s'ajoutent des influences climatiques déterminantes : forêts ombrophiles des secteurs à forte pluviométrie ou formations xérophiles et « bush » du sud-ouest par exemple. Le couvert végétal joue un rôle notable sur les conditions de ruissellement et d'infiltration. Lorsqu'il est dense (forêt des falaises de l'est par exemple), il freine le ruissellement et favorise l'infiltration et le stockage des précipitations (humus, chevelu racinaire, ameublissement des sols...), peut abaisser l'évapotranspiration potentielle (effet de microclimat frais et humide sous le couvert forestier) mais entraîner pour la satisfaction des besoins de la végétation, une forte évapotranspiration réelle (augmentation du rapport ETR/ETP). A l'inverse, le recouvrement lâche des savanes et prairies ne joue qu'un rôle insignifiant sur la concentration des eaux fluviales et faible sur la transpiration.

A Madagascar, la distribution régionale des régimes hydro-pluviométriques se présente de la façon suivante :

Extrême nord et montagne d'Ambre

La zone se situe en climat perhumide avec des précipitations annuelles fortes (de 1500 mm à 3300 mm au sommet), avec des températures annuelles de l'ordre de 20 à 25°C et une évapotranspiration potentielle annuelle comprise entre 900 et 1300 mm. Les lames écoulées annuelles sont comprises entre 6 et 700 mm. L'important déficit d'écoulement (1500 à 1900 mm) se répartit entre l'évapotranspiration réelle (1000 à 1100 mm) et les pertes par infiltration profonde (500 à 800 mm) dans les basaltes fissurés. Les eaux ainsi infiltrées sont plus ou moins récupérées par drainage dans les biefs du piémont.

Les crues sont généralement aiguës et de courte durée. Pour les précipitations moyennes, les débits de pointe restent modérés (100 à 300 l/s/km²) en raison de la perméabilité des pentes, du couvert forestier et de l'encombrement des lits par des blocs basaltiques. Pour les très fortes précipitations, l'effet de pente devient prédominant et des débits spécifiques élevés peuvent être observés (5700 l/s/km² sur la SARAHENANA au passage du cyclone ISIS en 1973).

Les débits d'étiage médians sont assez soutenus (5 à 6 l/s/km²).

Le massif du TSARATANANA et ses bordures

D'organisation moins simple que sur la montagne d'Ambre, les cours d'eau du TSARATANANA correspondent à un dispositif rayonnant sur les formations cristallines altérées qui constituent la plus grande partie du massif. Les pentes sont fortes (20 à 30 m/km jusqu'au recouvrement sédimentaire où la rupture est brutale (quelques m/km jusqu'au littoral). Les bassins sont encore assez largement recouverts de forêt humide dense.

L'ensemble appartient principalement au domaine climatique perhumide par les fortes précipitations annuelles (2000 mm sur les premières pentes et, probablement, jusqu'à 3 à 4000 mm sur les sommets). L'altitude modère les températures.

Les lames écoulées annuelles sont de l'ordre de 1500 à 1800 mm sur les flancs est et ouest du massif, et entre 1100 et 1600 mm sur les flancs nord et sud (coefficients d'écoulement : 50 à 60 %). La distribution saisonnière des écoulements est, pour une pluviométrie comparable, plus contrastée que sur le versant oriental de l'île, en raison de la moindre abondance de la saison fraîche et en dépit du soutien des aquifères latéritiques.

Le déficit d'écoulement (850 à 1200 mm) correspond à une réduction de l'ETR sur l'ETP en raison de la « sécheresse » relative de la saison fraîche.

En raison des fortes pentes, les débits de crue sont élevés (médiane : 400 à 800 l/s/km², décennale : 1000 à 2000 l/s/km²).

Les débits de basses eaux sont soutenus (3 à 7 l/s/km² pour l'étiage médian).

Le versant oriental

Délimité à l'ouest par le rebord oriental des hautes terres (falaises de l'ANGAVO, de BETSIMISARAKA et de TANALA), l'ensemble regroupe des bassins de faible extension, en général, situés essentiellement à l'aval des falaises. Les bassins supérieurs des plus grands cours d'eau (MANINGORY, MANGORO, MANANARA du sud) appartiennent au domaine des hautes terres.

Les bassins reposent, en majeure partie, sur les formations du socle cristallin profondément altérées en latérites. Les formations basses sédimentaires ne sont représentées que sur l'étroite plaine littorale. Sur les reliefs, la végétation est représentée par la forêt dense ombrophile, très souvent dégradée en « savoka ».

La zone se rattache au climat perhumide avec de fortes précipitations annuelles supérieures à 2000 mm et pouvant, dans les secteurs les mieux arrosés, dépasser les 3000 mm. Les saisons sont assez peu contrastées ; en saison fraîche, les précipitations mensuelles restent égales ou supérieures à 100 mm. Avec des températures moyennes comprises entre 20 et 25°C, l'évapotranspiration potentielle est comprise entre 1000 et 1300 mm.

Avec ceux du TSARATANANA, les apports annuels sont les plus abondants de l'île (lames écoulées médianes comprises entre 1300 et 2000 mm, coefficients d'écoulement compris entre 50 et 70 %). L'évapotranspiration potentielle est presque toujours satisfaite (sols saturés la majeure partie de l'année) ; le déficit d'écoulement est de l'ordre de 1100 à 1200 mm. L'irrégularité saisonnière des écoulements est peu marquée (sauf dans l'extrême sud du versant) en raison du soutien des abondants aquifères latéritiques et des apports pluviométriques encore soutenus de saison fraîche.

En dépit du couvert forestier dense et en raison des fortes pentes sur les falaises, les débits de pointe sont très élevés (300 à 1200 l/s/km² pour les médianes, 1000 à 2700 l/s/km² pour les décennales).

Bien soutenus par le drainage des puissants aquifères latéritiques, gorgés d'eau en fin de saison chaude, ainsi que par les précipitations de saison fraîche, les débits de basses eaux sont les plus élevés de l'île (13 à 30 l/s/km² pour les étiages médians).

Les hautes terres centrales

L'unité regroupe les bassins des grands fleuves malgaches (BETSIBOKA, TSIRIBIHINA, formateurs nord du MANGOKY). Elle repose entièrement sur les formations du socle ancien altérées en sols ferrallitiques cependant moins épais que sur le versant oriental. La forêt n'est plus qu'à l'état résiduel et la savane constitue le couvert végétal prédominant. Les marécages et périmètres rizicoles occupent des superficies relativement importantes.

Le domaine climatique correspond à la région humide : précipitations annuelles moyennes comprises entre 1200 et 1500 mm (mais parfois inférieures à 1000 mm dans les zones dépressionnaires : plaine d'ANTANANARIVO, ALAOTRA...). L'altitude modère les températures : inférieures à 20°C en moyenne, parfois beaucoup moins sur les massifs (ANKARATRA, ANDRINGITRA).

La saison sèche commence à être bien différenciée (entre 10 et 50 mm/mois, la moitié de l'année). L'évapotranspiration réelle ne représente plus que 50 à 80 % de l'évapotranspiration potentielle.

Les apports annuels restent relativement abondants (beaucoup moins cependant que sur le versant oriental) : lames écoulées annuelles comprises entre 500 et 1000 mm (coefficients d'écoulement compris entre 30 et 50 %). L'irrégularité saisonnière tend à s'accroître avec une saison « sèche » plus accusée.

Les pentes moyennes des cours d'eau (biefs de faible pente rompus par des rapides et des chutes) sont beaucoup plus modérées que sur le versant oriental.

Les débits spécifiques de crues sont compris entre 120 et 300 l/s/km² (médianes), parfois beaucoup moins quand, en amont, la présence de bas-fonds marécageux et de rizières contribue fortement à l'écrêtement des crues (bassins supérieurs de l'IKOPA, par exemple).

En raison du moindre développement des aquifères latéritiques et de la pluviométrie réduite en saison fraîche, les débits de basses eaux sont nettement moins soutenus que sur le versant oriental (3 à 8 l/s/km²). Les prélèvements pour l'irrigation peuvent amputer ces débits (haute IKOPA).

Les hautes terres méridionales

Cette unité rassemble les formateurs sud-est du MANGOKY, ceux de l'ONILAHY et les bassins supérieurs de la MANANARA du sud. Les bassins reposent sur la partie sud du socle cristallin, moins profondément altéré en raison de la pluviométrie plus réduite. Avec une altitude moins élevée, le relief général reste accusé.

La région se rattache au climat sub-humide à semi-aride avec des précipitations annuelles comprises entre 800 et 1000 mm et des températures moyennes plus élevées qu'au nord (23 à 25°C). L'évapotranspiration potentielle est assez forte (1200 à 1600 mm) mais l'ETR ne représente plus que la moitié de l'ETP avec six à huit mois « secs ».

Les apports annuels sont nettement plus faibles que sur les hautes terres centrales (350 à 700 mm en lames annuelles). L'irrégularité saisonnière est accusée.

En raison du relief et de la faible densité du couvert végétal, les débits de crue sont élevés (100 l/s/km² à près de 600 l/s/km² au sud de l'ANDRIGITRA).

Les étiages, mal soutenus par des aquifères peu développés, sont assez faibles (de l'ordre de 1 l/s/km²).

Les régimes de la zone présentent un caractère de transition entre ceux de l'est, des hautes terres centrales et du sud-ouest.

Les pentes occidentales du nord-ouest et de l'ouest

L'unité correspond aux bassins du versant occidental situés sur les bordures du socle ancien à une altitude inférieure à 1000 m et sur la couverture sédimentaire. On y retrouve les bassins inférieurs de la SOFIA et de la BETSIBOKA, la MAHAVAVY du sud, le MANAMBOLO et le bassin inférieur de la TSIRIBIHINA.

Les zones climatiques correspondent à l'est, au climat humide mégathermique, à l'ouest au climat sub-humide mégathermique. Les précipitations annuelles sont comprises entre 1800 mm à l'est et 1300 mm à l'ouest (1000 à 1200 mm sur les régions côtières). Les températures moyennes sont élevées (25°C) et le mois le plus frais reste voisin de 20°C. L'évapotranspiration potentielle est élevée (1200 à 1500 mm) mais, en raison de la sévérité de la saison sèche, l'ETR ne représente plus que 50 à 60 % de l'ETP.

En dépit d'une information plus réduite, on peut estimer les apports annuels entre 350 mm dans le sud de la zone et pour les petits fleuves côtiers et 900 mm pour les tributaires du BEMARAHY. À l'est, sur les TAMPOKETSA, les apports sont plus élevés (1100 mm). L'irrégularité saisonnière est accusée.

Les débits maximaux de crue, très variables, dépendent de facteurs locaux (relief, présence ou non de zones marécageuses). Les valeurs observées sont comprises entre 100 l/s/km² (MAEVARANO) et 850 l/s/km² (ISINKO, Tampoketsa du KAMORO).

A l'exception des cours d'eau du BEMARAHHA et des TAMPOKETSa (2 à 4 l/s/km²), les débits de basses eaux sont peu soutenus (1 à 2 l/s/km²).

Le Sud-ouest

A l'ouest du plateau de l'HOROMBE, cette région réunit la basse MORONDAVA, le bassin sédimentaire du MANGOKY et le bassin moyen de l'ONILAHY. Ces bassins sont, pour l'essentiel, situés sur des formations sédimentaires, sous climat semi-aride mégathermique. Les précipitations annuelles sont comprises entre 500 et 800 mm, les températures moyennes élevées (plus de 25°) et l'évapotranspiration potentielle est forte (1500 à 1800 mm). La sévérité de la saison sèche est très accusée et l'ETR est de l'ordre de la moitié de l'ETP.

Les apports annuels sont assez peu abondants (100 à 200 mm en lame écoulée annuelle avec des coefficients d'écoulement de l'ordre de 10 à 20 %). L'irrégularité saisonnière est forte.

Les crues peuvent atteindre, sur les petits et moyens bassins, des débits de pointe élevés (de l'ordre de 100 l/s/km²). Pour les grands bassins, l'atténuation de la pente et les débordements en nappe entraînent un écrêtement des crues (40 à 80 l/s/km² sur l'ONILAHY).

Pour la plupart des petits cours d'eau, entièrement situés dans la zone, les débits de basses eaux s'annulent ou restent extrêmement faibles. Font exception les cours d'eau issus de l'ISALO, qui bénéficient de résurgences importantes (4 à 6 l/s/km²).

Le Sud

Ce domaine regroupe le bassin inférieur du MANDRARE (à l'est), ceux du MANAMBOVO, de la MENARANDRA et de la LINTA ainsi que l'ONILAHY en aval de l'ISALO. Tous ces bassins reposent sur l'extrémité méridionale du socle ancien, sur les formations sédimentaires du KAROO à l'ouest, ainsi que, en auréole externe, sur les formations sédimentaires marines tertiaires et quaternaires. L'altération est peu prononcée. A l'exception de lambeaux forestiers sur l'ANOSY, la végétation dominante est représentée par la savane sèche et le « bush ».

Le climat est aride avec des précipitations annuelles comprises entre 350 mm (littoral) et 600 mm (nord et est) et avec des températures moyennes élevées (20 à 25°C).

L'évapotranspiration potentielle (1200 à 1300 mm) est moins forte que dans l'ouest de l'île en raison des apports humides d'origine polaire mais, en raison de la sévérité et de la durée de la saison « sèche », l'ETR ne représente plus que 25 à 30 % de l'ETP.

Les lames écoulées sont parmi les plus faibles de l'île (50 à 150 mm, soit quelques l/s/km²) avec une forte irrégularité inter-annuelle. L'irrégularité saisonnière est très prononcée et la quasi-totalité de l'écoulement est concentrée sur 2 à 3 mois.

Les crues sont très brutales, avec des variations extrêmement rapides des plans d'eau. Les débits de pointe peuvent atteindre ou dépasser les 1000 l/s/km².

Les débits de basses eaux sont extrêmement faibles. Ne dépassant pas le l/s/km² sur les parties amont des bassins, il s'annule pour les petits bassins et sur les formations sédimentaires de l'aval des grands bassins (sables roux en particulier) où l'on observe cependant un inféro-flux notable.

Ces régimes ont pu être rapprochés de ceux des cours d'eau sahéliens dont ils se distinguent cependant par l'occurrence de précipitations sporadiques en saison froide.

Les plus grands fleuves malgaches (BETSIBOKA, TSIRIBIHINA, MANGOKY...) sont caractérisés par des régimes « mixtes » résultant de la composition des régimes propres des différentes fractions élémentaires des bassins globaux.

Si les régimes hydrologiques caractéristiques peuvent être considérés comme le produit de l'interaction des facteurs conditionnels climatiques (précipitations, évapotranspirations) et des facteurs physiographiques (géomorphologie, sols, végétation), les cours d'eau, en retour, par l'intermédiaire d'un processus érosion-transport-sédimentation, modifient de façon lente et continue, la géomorphologie de leurs bassins, à la recherche d'un profil d'équilibre, étape ultime de la régulation.

Sur les parties jeunes de leurs bassins (forts reliefs), les eaux de ruissellement et d'infiltration destructurent les sols altérés, principalement là où le couvert végétal les protège assez mal (sols des hautes terres centrales sous savane). L'érosion se produit en nappe ou de façon linéaire.

En nappe, elle tend à arracher les particules meubles et après transport, à combler les dépressions.

Linéairement, elle crée des ravines parallèles aux lignes de plus grande pente et peut aboutir à des formes spectaculaires d'excavation, les « lavakas » caractéristiques des hautes terres et du moyen ouest. Selon d'autres thèses (ARTHAUD, GRILLOT, RAUNET 1989), ces « lavakas » pourraient être provoqués par une morphodynamique d'origine tectonique avec réajustements de l'équilibre hydro-dynamique. Il est probable que les deux causes se conjuguent.

L'ablation moyenne peut atteindre 1 cm par décennie (bassin de la BETSIBOKA).

Les transports solides sont en conséquence importants. Il suffit d'observer, après une forte pluie, la coloration des cours d'eau chargés de latérite. Les charges solides peuvent atteindre 2,2 kg/m³ sur l'IKOPA, 4 kg/m³ sur le MANGOKY et jusqu'à 11 kg/m³ pour les fortes crues de la BETSIBOKA. Les valeurs annuelles du transport solide ont pu être évaluées à 100 à 360 tonnes par kilomètre carré sur le MANGOKY, 560 t/km² sur l'IKOPA et 1660 t/km² sur la BETSIBOKA. Les transports solides globaux doivent être supérieurs à ces valeurs puisqu'elles ne correspondent qu'aux seuls transports en suspension, à l'exception des transports par saltation et charriage, non mesurés.

Dès que les pentes s'atténuent à l'aval des grands bassins, sur les formations sédimentaires, les charges solides se déposent (sédimentation) et contribuent à caractériser le paysage hydrographique : méandres, formations de bras morts et de mares ou étangs marginaux, deltas anastomosés parfois envahis par la mangrove.

Les formations de bourrelets de rives, parfois repris par l'érosion, ainsi que les modifications des profils hydrographiques, peuvent ainsi aboutir à des transformations du réseau hydrographique par des mécanismes de capture.

La plus connue de ces captures intéresse le cours de la MAHAJAMBA (versant nord ouest) dont une partie des eaux est dérivée vers la BETSIBOKA, par l'intermédiaire du KAMORO. Cette capture est assez récente puisqu'elle ne s'est stabilisée qu'en 1903. Elle pourrait être réversible puisque le lit du KAMORO a tendance à s'exhausser en raison de l'alluvionnement.

De façon plus problématique, il est possible que sur le versant oriental, l'ITOMAMPY et l'IONAIVO, affluents actuels de la MANANARA du sud aient été jadis affluents de l'IHOSY (bassin du MANGOKY).

L'HOMME ET LES SYSTÈMES AQUATIQUES CONTINENTAUX

L'eau est un élément essentiel pour la satisfaction des besoins physiologiques de l'homme (alimentation en eau potable) et intervient dans un grand nombre d'activités socio-économiques (irrigation des cultures, abreuvement du bétail, usages industriels, utilisation de l'énergie hydraulique, transport par voie d'eau, récréation...).

Si dans un premier temps les collectivités humaines ont pu satisfaire leurs besoins en s'établissant à proximité des ressources naturelles (les vallées des grands fleuves peuvent

être considérées comme les premiers foyers de la civilisation), plus ou moins rapidement, en fonction de la démographie et du développement du niveau économique, un déséquilibre s'est établi entre la satisfaction de la demande sociale et les ressources naturelles en eau locales. Les collectivités humaines ont par conséquent été amenées à aménager les systèmes aquatiques en stockant, dérivant ou prélevant en périphérie les ressources nécessaires. Outre ces équipements qui concernent les biefs naturels, l'aménagement du territoire et les différents processus d'occupation des sols (défrichements, drainages...) ont contribué à modifier les facteurs conditionnels physiographiques des bassins versants.

L'anthropisation des paysages peut être considérée comme positive lorsque les bénéfices réalisés dépassent assez largement les inconvénients (prélèvements sur la ressource renouvelable, artificialisation des cycles...); elle est par contre négative lorsque les bénéfices immédiats ont pour conséquence une destruction à terme des équilibres naturels.

Le processus d'artificialisation des systèmes aquatiques est déjà très prononcé dans les régions à forte densité de population et à développement économique avancé. En Europe occidentale, par exemple, on peut considérer que l'artificialisation des systèmes aquatiques concerne la quasi-totalité des cours d'eau.

À Madagascar, et à l'exception du sud de l'île, la nature a été suffisamment généreuse pour que la satisfaction des besoins en eau ne soit pas, en moyenne, déséquilibrée. Cependant, l'homme ne vit pas que d'eau et les concentrations de population se sont faites également en fonction des potentialités des sols et des sites, des facilités de communication et selon, aussi, un certain volontarisme historique. Des déséquilibres régionaux sont ainsi apparus et ont conduit à la réalisation d'aménagements, comme par exemple, les aménagements hydrauliques des périmètres agricoles d'ANDAPA, du lac ALAOTRA, les usines hydro-électriques du versant oriental (ANDEKALEKA sur la VOHITRA, MANDRAKA, NAMORONA...). Une des régions les plus anthropisées est le haut bassin de l'IKOPA, autour d'ANTANANARIVO.

Il y a déjà un quart de siècle, les aménagements suivants étaient en place sur le bassin supérieur de l'IKOPA, pour une superficie qui ne dépassait pas 4300 km² :

- les retenues de Mantsoa (construite en 1938) et de TSIAZOMPANIRY (construite en 1955) ;
- les centrales hydro-électriques d'ATELOMITA (en amont d'ANTANANARIVO) construites en 1909 (ATELOMITA I) et 1928 (ATELOMITA II) qui, dès 1952, utilisaient un débit dérivé voisin de 30 m³/s pour une puissance installée de 7800 kW ;
- les aménagements à usage hydro-agricole (irrigation) de l'IKOPA et de ses affluents (prise du barrage de TANJOMBATO, canal d'ANDRIAMBONY) qui devaient assurer, dès 1950, la fourniture d'environ 150 millions de m³ (soit un débit dérivé équivalent de 15 m³/s) ;
- les équipements de prélèvements d'alimentation en eau potable de l'agglomération d'ANTANANARIVO (20 millions de m³ en 1955).

Depuis, la demande, en raison de l'accroissement de la population résidante et du développement des industries, n'a cessé d'augmenter, ce qui ne manquera pas de poser, dans un proche avenir, un déséquilibre entre les besoins et la fourniture et des risques de conflit d'usage.

Dans ce secteur, le régime de l'IKOPA est déjà assez nettement artificialisé.

Cependant, l'ensemble de ces aménagements, en raison de l'amélioration des conditions socio-économiques, peut être considéré comme une anthropisation positive et incontournable.

Il n'en va pas de même pour la déforestation intensive et mal contrôlée qui, sous la pression d'une demande croissante en bois et charbon végétal de chauffage, affecte les régions forestières.

Nous avons vu ci-dessus le rôle important joué par le couvert végétal forestier dans la partie terrestre du cycle de l'eau : protection des sols, infiltration favorisée permettant la réalimentation des aquifères d'altérites et le soutien naturel des basses eaux, freinage de la concentration des eaux de ruissellement et écrêtage naturel des pointes de crue.

La déforestation progressive entraîne les effets négatifs suivants :

- diminution de l'infiltration et de la réalimentation des aquifères entraînant l'accroissement de l'irrégularité saisonnière et la diminution des débits de basses eaux en saison fraîche. Ce qui aura pour conséquence un effort relativement coûteux de construction de réservoirs de stockage pour les divers besoins de saison sèche ;
- modifications importantes de la distribution statistique des débits de crue. En clair, à période de retour équivalente, les débits de pointe à évacuer seront de plus en plus importants ou, de façon équivalente, les débits à risques seront de plus en plus fréquents. Cela se traduit dès maintenant par une augmentation sensible des destructions ou endommagements des ouvrages de franchissement et des routes ;
- plus grave encore, les défrichements sauvages renforcent les processus d'érosion-transport-sédimentation. L'ablation des sols les plus fragiles va s'accélérer et cela peut-être d'une façon irréversible si un effort important de protection n'est pas mis en œuvre. De même, l'augmentation des transports solides dans les cours d'eau va modifier les biotopes aquatiques. Les conséquences les plus immédiatement visibles, car dues à une concentration des sédimentations dans les biefs et dépressions topographiques, seront, et sont déjà constatées, dans l'ensablement des ouvrages de prise, l'envasement progressif des plans d'eau et l'envahissement stérilisant par les matières transportées de certains périmètres agricoles.

Il est donc du devoir des scientifiques concernés par ces problèmes de dresser l'inventaire de ces phénomènes et de ces mécanismes et de les porter à la connaissance du public. Il appartiendra aux collectivités et aux responsables politiques et économiques de mettre en place les remèdes préventifs.

