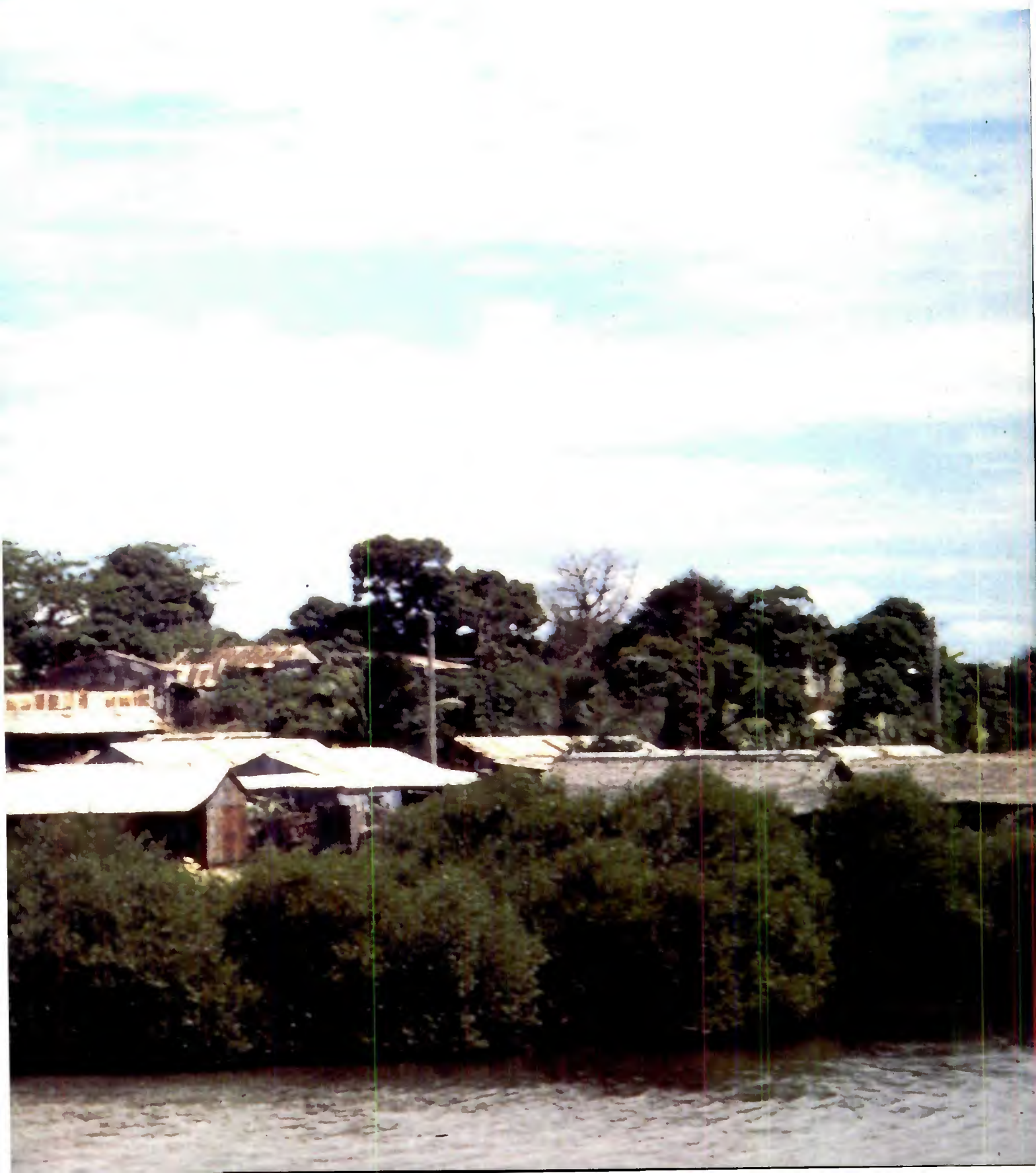


LE SPÉCIAL EAU AMBOYANT

Numéro spécial - Mars 1997 - 30 FF



LE FLAMBOYANT N° 41

N° ISSN : 1241 - 3712

Directeur de Publication :
Arthur RIEDACKER

Comité de lecture :

Michel ARBONNIER,
Urbain BELEMSOBGO,
Ronald BELLEFONTAINE,
Alain BERTRAND,
Jean CLÉMENT,
François COLAS,
Bernard DABIRÉ,
Donald ELAT FOTAH,
Jean ESTÈVE,
Jean-Jacques FAURE,
Lucie de FRAMOND,
Charles GUILLERY,
François LAMARQUE,
Francis LECCIA,
Bernard MALLET
Didier MÜLLER
Mama NTOUKPA,
Delphine OUEDRAOGO,
Abdel Wedoud OULD CHEIKH,
Jean-Pierre PROFIZI,
Gérard SOURNIA.

Secrétaires de rédaction :

Viviane APPORA,
Claude BARBIER,
François BESSE.

Maquettiste : Paula BOURGOIN.

Impression : ARTE COM.

SECRETARIAT DU RÉSEAU ARBRES TROPICAUX

SILVA

21, rue Paul Bert
94130 Nogent-Sur-Marne
FRANCE
Tél. : 33-1 48. 75. 59. 44
Fax : 33-1 48. 76. 31. 93
E-mail : silva@cirad.fr

*Le Flamboyant est publié par
l'Association SILVA avec le
soutien financier du Ministère
français de la Coopération et
diffusé gratuitement en
Afrique.*

ABONNEZ-VOUS

au "Flamboyant"
4 numéros/an

Particuliers 80 FF
Institutions (contribution de
solidarité) 200 FF

Payable à l'ordre de SILVA par
mandat postal ou chèque compen-
sable en France.

SOMMAIRE DU NUMÉRO SPÉCIAL EAU

Le Flamboyant n° 41 - mars 1997

- **Éditorial** par Andrée CORVOL.....p 3

LES FORÊTS, LE CLIMAT ET LES SOLS

- **Des eaux et des forêts** par J. CLÉMENT.....p 4
- **L'eau et les formations végétales tropicales** par C. BARBIER...p 7
- **L'arbre fontaine : brouillard et aridité en Afrique**p 9
par A. GIODA, Z. HERNÁNDEZ, A. ACOSTA BALANDÓN et J. BLOT
- **L'eau, la végétation et les sols au Sahel**
par J. C. DELWAULLE.....p 11
- **Bilan de l'eau et érosion en forêt dense humide guyanaise**
par J. M. SARRAILH.....p 14

LES FORMATIONS FORESTIÈRES LIÉES À LA PRÉSENCE D'EAU

- **Les forêts inondées du Congo**
par J. LOUMETO et C. BOUDZANGA.....p 16
- **Les pinotières de Guyane** par J. P. RICCI.....p 18

FAIRE POUSSER LES ARBRES LÀ OÙ L'EAU MANQUE

- **L'irrigation des arbres forestiers : cas du Niger**
par A. HAMIDIL et C. BARBIER.....p 21
- **La forêt : un nouvel outil de gestion de l'eau** par J. P. LUC ...p 24

QUAND ON REMPLACE DES FORÊTS PAR DES PLANS D'EAU

- **Le barrage du Petit Saut** par V. FAVRICHON.....p 27
- **En Champagne : le lac du Der-Chantecoq**
par F. GAUDEMARD.....p 32

L'EAU DANS LE BOIS

- **L'eau dans l'arbre sur pied** par G. NEPVEU.....p 34
- **Fonction, effet et usage de l'eau dans la transformation
mécanique du bois** par J. GERARD.....p 36
- **Transformation énergétique du bois**
par P. GIRARD, P. ROUSSET et A. M. VERGNET.....p 42

L'EAU QUI TRANSPORTE LE BOIS

- **Le flottage du bois au Canada** par M. LAVERDIÈRE.....p 45
- **Le flottage des bois tropicaux** par J. ESTÈVE.....p 49

LA FAUNE ET L'EAU

- **L'hippopotame** par F. LAMARQUE.....p 52

PHOTO DE COUVERTURE : Faubourg de Mahajanga, à proximité
d'une mangrove à *Avicennia marina*, Madagascar. J. M. PIERRE.

L'époque contemporaine aime assez les amalgames. C'est ainsi que les malheurs qui affectent les forêts tropicales sont volontiers étendus aux forêts tempérées, quoique leurs peuplements n'y soient menacés que de vieillesse. Il est pourtant un domaine où le rapprochement des points de vue est souhaitable : celui des rapports qui, de tout temps, ont lié la forêt et l'eau, en milieu tempéré comme en milieu tropical, aux périodes anciennes comme aux périodes récentes. L'eau, c'est tout autant la venue des pluies bienfaisantes qui réveillent la végétation, permettent aux pousses de grandir et aux feuilles de verdier, qu'un taux d'humidité suffisant pour combattre la dessiccation, facteur redoutable qui met la plante assoiffée au service des flammes destructrices. L'eau, c'est également la présence de la rivière qui attire le gibier, celui que cherchent les grands prédateurs, qui attire les installations humaines, d'abord les pièges du chasseur, ensuite les essais du paysan, enfin les comptoirs du marchand, que celui-ci négocie les peaux ou les grains.

À l'abri des fossés alimentés par le cours d'eau ou par quelques dérivations, une bourgade naît qui prospérera peut-être, sa réussite dépendant beaucoup de l'aptitude qu'auront

ses habitants à maîtriser le système hydraulique protecteur et à exploiter la forêt source de vie. Qu'ils en abusent et la condamnent, et ils auront dérégulé le mécanisme qui régulait l'ambiance du lieu et empêchait l'érosion du sol ; supprimé l'espace qui accueillait leur bétail et fournissait les matériaux. Plus de bois ? La population perd tout à la fois moyen de chauffage et de cuisson, et faculté de construire : elle doit alors importer par la rivière charbons, bûches, planches et poutres. Le cours d'eau, c'est le chemin qui marche en des siècles où les routes étaient rares et incertaines, en des régions où la route n'a toujours pas la stabilité et la dureté nécessaires aux camions pesamment chargés. Ce qui vaut pour les produits lourds vaut a fortiori pour les grumes difficiles à manier, à convoier, impossibles souvent à extirper : sans la rivière complice, elles resteraient prisonnières de la sylve. On le savait déjà sous l'Ancien Régime, en France, où la grande question n'était pas tant de trouver des bois de mûture que de résoudre le problème de leur transport.

Cette difficulté, on l'éprouve chaque jour dans les pays du tiers monde : le commerce des bois coloniaux rapporte les devises indispensables à l'essor économique quand leurs troncs

arrivent jusqu'aux entrepôts des ports exportateurs ! Et lorsque cette clause est réalisée, tout danger n'est pas écarté car il est facile de céder à la tentation, prélever le meilleur dans les peuplements longeant la rivière. Certes, en agissant ainsi, on économise des dépenses de travail ; on accroît donc le profit à court terme mais, à plus longue échéance, la poule aux oeufs d'or cesse de pondre : les essences précieuses vont disparaître, les rives forestières vont régresser. C'est avant le constat de ce processus que la voie naturelle doit être considérée de manière à mieux répartir la récolte sylvicole : la régénération ne résiste pas à une concentration linéaire des abattages. La forêt enrichit les hommes ? Oui, mais principalement ceux qui ont pensé aménagement des peuplements et équipement d'un territoire, la voirie étant la principale infrastructure là où la route demeurera encore longtemps ou un luxe ou un rêve.

Andrée CORVOL

CNRS

Groupe d'Histoire des

Forêts Françaises

Institut d'Histoire Moderne

& Contemporaine

45, rue d'Ulm

75005 Paris

FRANCE

Dans ce numéro "Spécial eau" du Flamboyant, nous vous proposons une série d'articles illustrant les relations eau-arbres-forêts-bois-animaux. Certaines de ces relations n'ont pu être traitées par manque de place ou de rédacteurs. Aidez-nous à compléter ce dossier avec par exemple des textes présentant :

- les mangroves à la conquête des vases,
- la varzea amazonienne,
- le bois dans la construction des puits,

- les plantations de Melaleuca dans le delta du Mekong,
- les bois dans les constructions hydrauliques,
- les acadja du lac Nokoué au Bénin,
- les bois de marine utilisés pour les pirogues et les gros vaisseaux...

Alors à vos plumes et à vos appareils photos !

La rédaction

DES EAUX ET DES FORÊTS

"Où l'herbe demeure verte, la forêt prospère et comme elle provoque elle-même la réunion des vapeurs, comme la transpiration de ses feuilles accroît la quantité d'eau éparse dans l'air, comme la forêt est la mère des pluies et des rosées, elle se multiplierait d'elle-même partout si l'action de l'homme ne venait la détruire ou la limiter".

Édouard HERRIOT

"Dans la forêt normande"

4

Cette vision idyllique de la forêt s'autosuffisant en besoins hydriques est sans doute exagérée, mais il est vrai que les forêts, par les influences qu'elles exercent sur les cycles hydrologiques, conditionnent en qualité comme en quantité les ressources en eau des bassins versants et ce n'est pas sans raison que la gestion des "Eaux" est associée à celle des "Forêts" dans de nombreux pays du monde et ceci depuis fort longtemps (l'appellation "Eaux et Forêts" date en France d'une ordonnance de 1219).

Ce n'est cependant qu'à l'époque moderne, avec le développement de la climatologie, que les liens entre les forêts et les eaux se sont trouvés confirmés par la compréhension croissante des mécanismes liés aux cycles hydrologiques, encore que "des résultats contradictoires et des difficultés de mesures de

certaines variables rendent difficiles une interprétation indiscutable des influences de la forêt sur les ressources en eau" (Aussenac, 1995).

En effet, s'il est vrai qu'à l'échelle globale les zones occupées par les forêts reçoivent en moyenne deux fois plus d'eau atmosphérique que les autres types d'occupation des sols, il n'est pas certain du tout que si ces zones étaient déforestées, la pluviométrie diminuerait dans les mêmes proportions. C'est l'importance et la répartition des précipitations qui, avec la température, conditionnent l'existence des forêts ; l'inverse est plus difficile à prouver même si la question se pose d'une manière très actuelle en raison des taux alarmants de déforestation de certains pays tropicaux.

Des pluies et des forêts

Les premières expériences ont été réalisées en France à la fin du siècle dernier dans la région de Nancy, puis d'autres expériences furent réalisées en Europe et en Amérique du nord. Les premières idées d'une augmentation de l'ordre de 20% de la pluviométrie des zones boisées par rapport aux zones déboisées furent corrigées à la baisse après que l'on eut pris en compte les facteurs topographiques (altitude et exposition). Aujourd'hui, un surplus de 1 à 2% de pluviométrie annuelle est admis dans la mesure où les massifs forestiers couvrent plusieurs centaines d'hectares.

En zone tropicale, un certain nombre d'études ont été réalisées en liaison avec le déboisement des forêts tropicales humides. C'est ainsi que les déboisements importants le long de la côte du golfe de Guinée (sud Guinée, Sierra Leone, Liberia, sud Côte d'Ivoire, sud Ghana, sud Nigeria) ont été mis en

relation avec les réductions de pluviométrie des zones soudaniennes et sahéliennes situées plus au nord. La baisse d'apport de vapeur d'eau dans l'atmosphère (l'évapotranspiration est très importante dans la forêt dense humide) et l'augmentation de la température de l'air et du sol dans les zones défrichées se traduiraient par une perturbation dans les mécanismes de formation des nuages et finalement par une moindre pluviométrie des zones éloignées de la mer. Mais il ne s'agit là que de preuves indirectes qui ne garantissent nullement les relations de cause à effet.

C'est en Amazonie que furent récemment étudiées (Shukta, Nobre et Sillers, 1990) les effets possibles d'une déforestation totale (pour installer des pâturages) sur les précipitations d'une région. L'utilisation de modèles numériques de fonctionnement de l'atmosphère a mis en évidence une baisse de pluviométrie de 26%, couplée à une augmentation de la durée de la saison

sèche. Mais malgré des conditions paramétriques d'utilisation du modèle extrêmes (sols dégradés sur de très grandes superficies avec végétation rare et discontinue), la pluviométrie prévue restait élevée (1 800 mm) permettant théoriquement la reconstitution progressive d'un couvert forestier "si l'action de l'homme ne venait la détruire ou la limiter". D'autres études sur les climats régionaux et le climat mondial aboutissent à des résultats souvent contradictoires et peu probants. Un vaste champ d'investigation pour la recherche est donc ouvert et les modèles climatiques incluant les processus dépendant de la nature de la couverture des sols sont des instruments appropriés à condition d'être améliorés car, comme l'écrit Dickinson (1992) : "Ils ne sont pas encore suffisamment évolués pour prédire avec fiabilité les conséquences d'altération, mêmes dramatiques, des couvertures végétales. Jusqu'à ce qu'il ait été démontré qu'ils peuvent le faire, il est prématuré de conclure sur les conséquences des activités humaines".



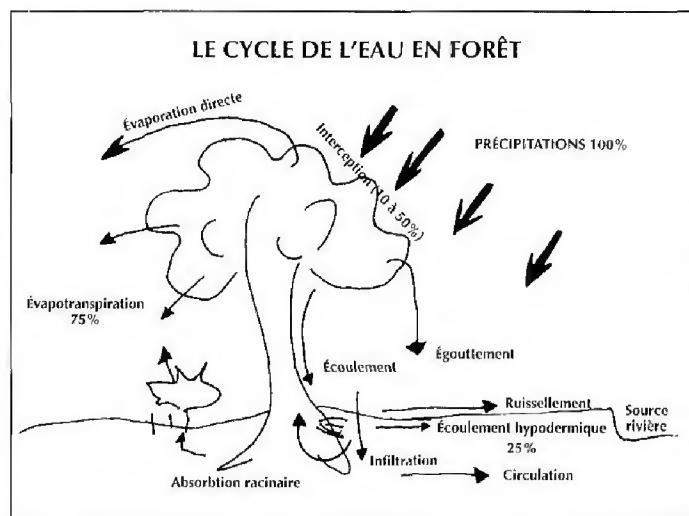
Du cycle de l'eau dans les forêts

Si les effets des forêts sur les climats sont encore mal connus, leur rôle primordial dans la régulation des eaux douces est indiscutable. Ce rôle se situe à plusieurs stades du cycle de l'eau dans les forêts.

Ce cycle de l'eau débute avec les précipitations (pluie, neige, grêle, brouillard). Une partie est interceptée par les surfaces végétales diverses de la forêt (feuilles, litière). Le reste arrive au sol directement par égouttement des surfaces végétales ou écoulement le long du tronc. Une fraction de cette eau ruisselle en surface, une autre s'infiltrate dans les sols. Cette eau est ensuite soit absorbée par les racines des végétaux, en particulier les arbres, et retourne dans l'atmosphère par transpiration, soit évaporée directement à partir du sol et des surfaces végétales inertes, soit entraînée vers les nappes souterraines, les sources et les rivières.

- **Au niveau des précipitations,** l'interception de celles-ci par le couvert arboré est de 25 à 50% pour les résineux et de 15 à 30% pour les feuillus de peuplements à couvert fermé. En forêt tropicale, les pourcentages sont inférieurs à 15% car les pluies sont plus intenses. L'eau interceptée est en partie évaporée. Dans les régions à brouillards fréquents (zones côtières ou montagneuses), la forêt peut condenser

jusqu'à 30 à 50% de plus que le terrain découvert. La rosée n'est par contre qu'un phénomène mineur en forêt (0,2 à 0,5 mm en une nuit).



- **Au niveau de l'écoulement de l'eau,** les forêts jouent un rôle considérable dépendant cependant de l'épaisseur de la couche superficielle d'humus, de la perméabilité des horizons supérieurs des sols et de la pente. Le ruissellement est très nettement freiné en forêt même si la pente est forte, la couche d'humus faible ou le sous-bois clair (exemple des forêts de Guyane française). L'infiltration est favorisée d'une part par l'existence de la litière qui diminue l'effet mécanique des gouttes d'eau qui détruisent la structure des sols de surface, en colmatant ses pores par des élé-

ments fins projetés par les gouttes, et d'autre part par l'activité des différents organismes vivants qui augmente la porosité des sols. Les travaux de débardage et les feux diminuent cette capacité d'infiltration.

L'eau qui s'infiltrate dans les sols peut s'écouler superficiellement (on parle d'écoulement hypodermique) ou en profondeur (on parle d'écoulement profond) ; l'importance de chacun d'entre eux dépend essentiellement de la perméabilité des sols, c'est-à-dire de leur structure. S'il existe un horizon imperméable à faible profondeur, l'écoulement hypodermique peut atteindre 80% du débit total et l'infiltration est diminuée. Le rôle des forêts comme limitateur et retardateur des crues est alors fortement diminué. Ceci est également vrai lorsque les pluies sont prolongées et très importantes dépassant la capacité de stockage du bassin versant. Il n'est donc pas approprié d'accorder aux forêts un trop grand

rôle dans la régulation du débit des rivières en cas d'extrêmes. L'effet le plus important des forêts est dans leur capacité de limitation des phénomènes d'érosion et donc de l'importance des sédiments qui augmentent le volume et la puissance des crues.

- **Au niveau des réserves en eau du sol,** la forêt, en favorisant l'infiltration,

favorise le stockage de l'eau si les conditions de sol ne sont pas négatives. Mais ce stockage dépend essentiellement de la texture et de la profondeur du sol. Les arbres sont des végétaux *a priori* bien équipés pour extraire un maximum d'eau utilisable pour leur transpiration puisque leurs racines peuvent plonger en profondeur. Cependant, le manque d'eau est un facteur limitant pour la plantation de nombreuses espèces d'arbres. Ceci relativise la flexibilité des peuplements forestiers et incite à conserver au maximum les écosystèmes naturels bien adaptés à leur milieu hydrique et édaphique.

Forêt dense humide, Mayombe, Congo.
Photo : V. APPORA.



6

• **Au niveau de l'évapotranspiration des forêts**, c'est-à-dire de la consommation en eau de la forêt englobant la transpiration des végétaux, l'évaporation de l'eau de pluie interceptée par les feuilles et l'évaporation du sol, il faut insister sur son importance quantitative (70 à 80% des précipitations retournent dans l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration). La transpiration compte pour 50 à 60%, l'évaporation des végétaux pour 5 à 10%, celle des sols pour 30 à 45%. Le rayonnement solaire, la température et l'humidité de l'air et la vitesse du vent influen-

cent l'importance de cette évaporation. L'importance relative de ces facteurs dépend de l'homogénéité du couvert forestier et de sa "fragmentation". L'évapotranspiration des peuplements à couvert irrégulier et fragmenté (résineux, peuplements ouverts) dépend davantage du déficit de saturation atmosphérique alors que celle des peuplements réguliers et homogènes (type feuillus à couvert continu) dépend davantage de la température (Ausse-nac, 1980).

Les éclaircies diminuent l'évapotranspiration mais leurs effets sont compensés au bout de quelques années. Ce n'est bien sûr pas le cas des coupes rases. Tout dépend de la vitesse de croissance de la régénération.

De l'influence des forêts sur la qualité de l'eau

L'influence de la forêt sur la qualité des eaux des ruisseaux et rivières est difficile à estimer car d'autres facteurs interviennent tels que le type de sol et les apports atmosphériques. Il apparaît cependant que les forêts consomment aisément les fertilisants et produits sanitaires, causes essentielles de la dégradation de la qualité des eaux par la pollution d'origine agricole. Par ailleurs, les forêts sont capables de fixer des polluants atmosphériques (azote et soufre notamment) dont la dissémination vers les milieux aquatiques peut être ainsi freinée. Les résineux, ayant une surface

foliaire persistante, sont de ce point de vue plus efficaces. Par contre, on a montré que des enrésinements massifs sur sol pauvre pouvaient induire une acidification des eaux préjudiciable à la vie de certaines espèces comme les salmonidées.

Enfin, les aérosols plus facilement fixés par le couvert forestier, pourraient accélérer l'acidification de certains sols et provoquer leur lessivage à terme. Toutes ces observations plaident pour la prudence en ce qui concerne les substitutions d'espèces et les sylvicultures pratiquées. La mort des forêts par suite de pollution industrielle a montré les limites de résistance de celles-ci et démystifie leur pouvoir régénérateur et purificateur.

En conclusion

Les liens entre la forêt et les ressources en eau sont complexes et divers car dépendant du climat, des conditions de sol, des activités humaines, ainsi que de la nature et de la structure des forêts.

Plus une forêt est fermée, plus elle joue un rôle positif sur le climat local, la régularisation de l'écoulement dans les rivières, la stabilité des sols et la qualité de l'eau. Dans de nombreux cas, les plantations ont davantage d'effets négatifs que positifs sur les ressources en eau et leur régulation. Toute grave perturbation du couvert forestier diminue les effets bénéfiques de la forêt sur les ressources en eau. Mais il ne faut pas entretenir le mythe des forêts telles que vues par Édouard Herriot. Les forêts ne sont pas la mère des pluies. Ce sont les océans qui jouent ce rôle. Elles sont un complexe laboratoire de recyclage des précipitations et de ce point de vue indissolublement associées aux eaux car leur qualité essentielle est de protéger et régénérer les sols, autre laboratoire essentiel dans le fonctionnement du cycle de l'eau.

JEAN CLÉMENT
S/C SILVA

Bibliographie

AUSSEMAC G., 1980. Le cycle de l'eau en forêts. Actualité d'écologie forestière, Gauthiers-Villard, 203-307.

AUSSEMAC G., GRANIER A., BREDAS N., 1995. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique et l'état hydrique des arbres. Revue forestière française Vol. 47, n° 1, 54-62.

BENOIT M., RANGER J., 1996. Boisement et qualité des eaux. Rapport Agrifor.

COSANDEY c., 1995. La forêt réduit-elle l'écoulement annuel ? Ann Géo 581-582.

DIKINSON, 1992. Changes in land use, climate system modeling. Cambridge University.

EVAN R. C., HOLDS R. and THOMPSON F. B., 1988. Forest climate and hydrology. The United Nation University, Tokyo.

GALEA G., BREIL P., 1993. Influence du couvert végétal sur l'hydrologie des crues. Hydrol cont. 8 (1).

MEUNIER, 1996. Couvert forestier et crues sur les petits bassins versants de montagne. Unasyva 185 vol. 47

MONTENY B., 1987. Contribution à l'étude des interactions végétation-atmosphère en milieu tropical humide. Importance du rôle du système forestier dans le recyclage des eaux de pluie. Thèse Université Paris XI.

SHUKKLA, NOBRE, SILLERS, 1990. Amazon deforestation climate change. John Wiley and sons inc New York.

L'EAU ET LES FORMATIONS VÉGÉTALES TROPICALES

La pluie est un facteur écologique primordial en zone tropicale, et c'est l'élément de différenciation climatique le plus marquant.

Elle régit :

- le type de végétation et son dynamisme, par alimentation directe et par l'humidité de l'air qu'elle entretient,
- la genèse pédologique (latérisation, hydromorphie),
- l'érosion des sols.

Mais toute l'eau de pluie n'est pas intégralement mobilisable par la végétation ; une part s'évapore, une part ruisselle et s'écoule dans le réseau hydrographique, une autre s'infiltré et recharge les nappes.

L'eau mobilisable est elle-même utilisée par les végétaux avec une intensité qui dépend principalement de la température, mais aussi du vent.

Dès 1949, AUBREVILLE⁽¹⁾ a mis en évidence l'importance du déficit de saturation atmosphérique dans la répartition zonale des bioclimats. Ainsi, il associait :

- à un déficit faible et constant ... les forêts denses humides,

- à un déficit moyen, avec amplitude mensuelle assez forte selon les saisons ... les forêts semi-humides et denses sèches,

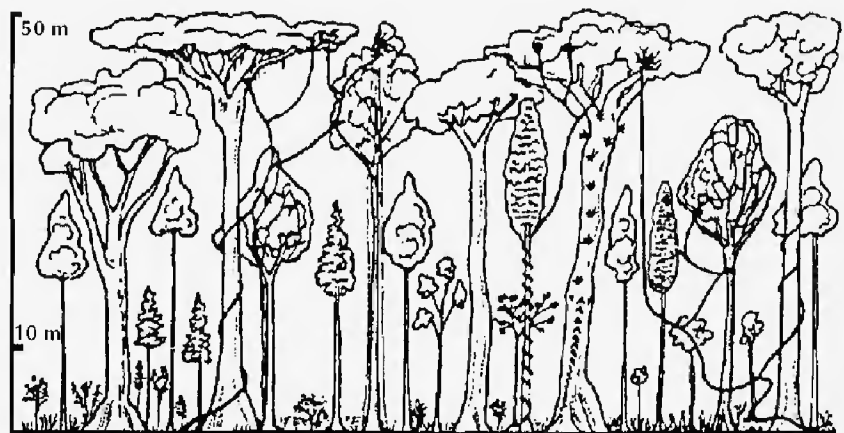
- à un déficit fort à excessif en saison sèche, fort en saison des pluies ... les forêts sèches, forêts claires et savanes,

- à un déficit constamment élevé ... les formations sub-désertiques et désertiques.

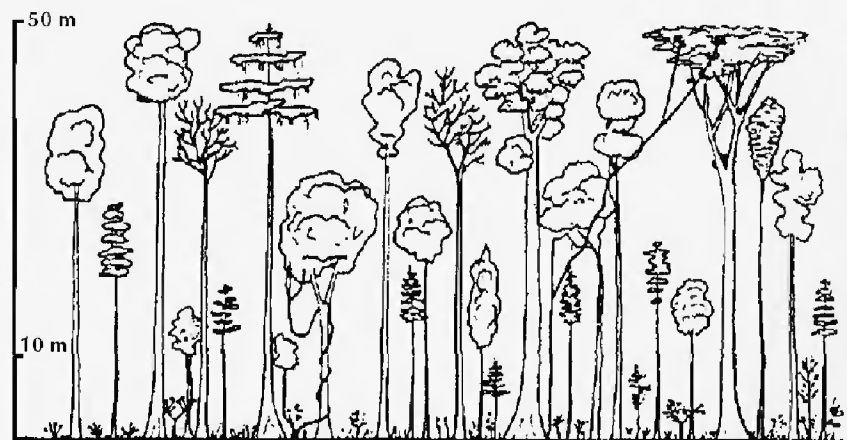
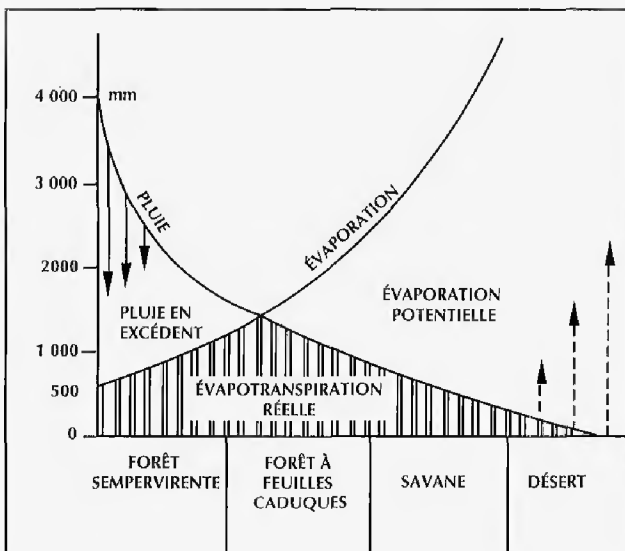
C'est en utilisant pour la première fois la notion d'évapotranspiration que SARLIN⁽²⁾, en 1970, propose une explication des grandes formations végétales et de la production forestière.

Le concept n'a guère évolué depuis, sinon par un affinement de la notion de saison de végétation par FRANQUIN⁽³⁾ tenant compte de la réserve en eau des sols.

Dans le cas très pédagogique de l'Afrique de l'Ouest, et pour illustrer l'étagement climacique de la végétation, il est intéressant de donner les diagrammes ombrothermiques de



Forêt dense humide sempervirente



Forêt dense humide semi-décidue



Forêt claire



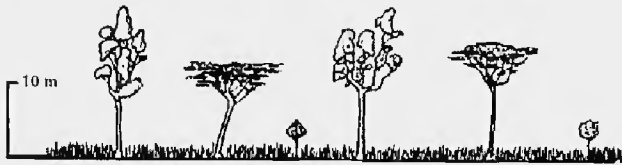
Forêt dense sèche



Savane boisée



Savane arborée et/ou arbustive



Savane arborée



Steppe arbustive épineuse



Savane arbustive



Savane herbusee

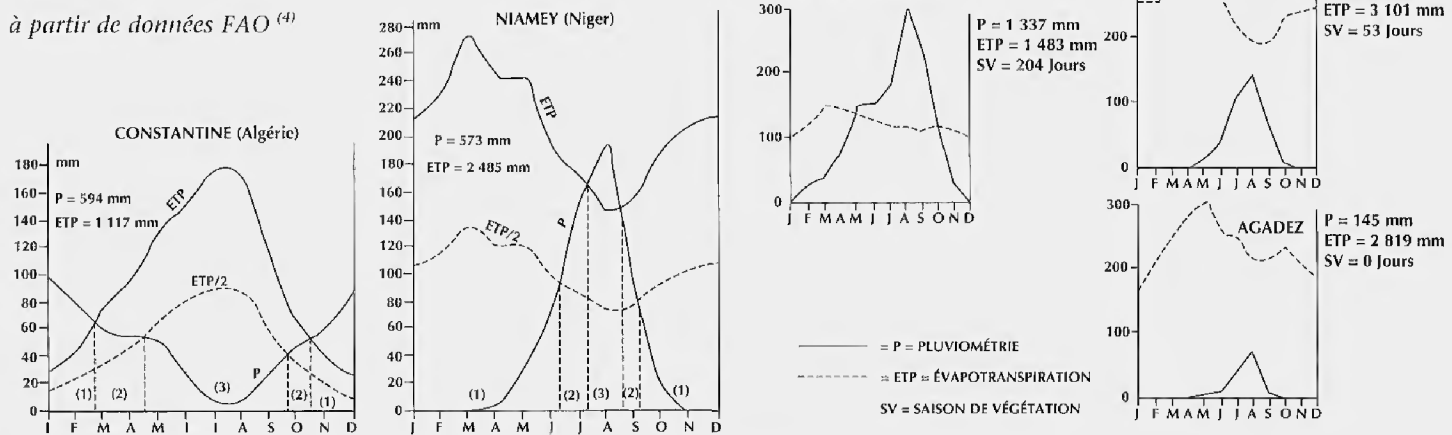
d'après LETOUZEY R., 1969. Manuel de Botanique forestière- Afrique tropicale t. 1 - CTFT.

quelques stations caractéristiques : Abidjan en zone de forêt dense humide, Ferkessedougou en zone de forêt claire, Ouagadougou en zone de savane boisée, Niamey en zone de transition, Tahoua en zone de steppe arbustive et Agadez en zone de steppe à épineux.

Ainsi, la saison de végétation passe de 279 jours à Abidjan, à 204 jours à Ferkessedougou, 130 jours à Ouagadougou, 91 jours à Niamey, 53 jours à Tahoua pour atteindre 0 jour à Agadez.

On peut ainsi, comme CATINOT⁽⁵⁾, expliquer, à pluviométrie annuelle similaire, les différences entre climat méditerranéen et climat sahélien.

à partir de données FAO ⁽⁴⁾



Comparaison des deux climats

	Constantine	Niamey
pluviométrie (mm)	594	574
ETP (mm)	1 117	2 485
nb jours secs (1)	162	275
nb jours intermédiaires (2)	74	48
nb jours humides (3)	129	42
durée saison de végétation	204 jours	91 jours

Cet exemple prouve que le climat sahélien est certainement l'un des plus contraignants au monde. Il explique également pourquoi tant de tentatives d'introduction d'espèces et de provenances méditerranéennes en zone sahélienne ont pu échouer.

Pour en savoir plus

(1) AUBREVILLE A., 1949. *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Soc. Ed. géogr. marit. colon. Paris.

(2) SARLIN P., 1970. *Evapotranspiration et végétation forestière tropicale* Bois et Forêts des Tropiques n°133.

(3) FRANQUIN P., 1969. *Analyse agroclimatique en régions tropicales, saisons pluvieuses et saisons humides, applications*. cah. ORSTOM série biol. n°9 : 65 - 95.

(4) FAO, 1987. *Données agroclimatologiques*.

(5) CATINOT R., 1967. *Sylviculture tropicale dans les zones sèches de l'Afrique*. Bois et forêts des tropiques n°112.

Claude BARBIER

Centre Régional de la Propriété Forestière
22bis, rue du Rond Buisson
Zone industrielle
25220 Thise FRANCE

L'ARBRE-FONTAINE : BROUILLARD ET ARIDITÉ EN AFRIQUE

Un arbre célèbre des îles Canaries

L'arbre-fontaine se trouve sur l'île de Hierro, la plus occidentale et la plus petite des Canaries. Il recueille jusqu'à 80 litres par jour d'eau de brouillard à son pied, en l'absence de toute précipitation significative mesurée au pluviomètre. L'arbre actuel, planté en 1945 par Don Zósimo, remplace en lieu et place l'ancien *Garoé* (son nom parmi les populations pré-hispaniques) ou arbre saint de Hierro, disparu en 1610. Connu dès la conquête des Canaries (1402-05), le *Garoé* donna lieu à bien des légendes et des inexactitudes, faisant longtemps douter de son existence et de la réalité de la capture des eaux du brouillard par ses feuilles. Ainsi, une jeune fille berbère aurait été tuée par ses frères, ayant divulgué le secret de l'eau à Hierro à un soldat espagnol dont elle était amoureuse. Selon le R.P. Abreu Galindo au XV^e s., l'arbre-fontaine produisait jusqu'à 8 000 litres par jour, une quantité suffisante pour alimenter en eau l'entière population de l'île. Ce religieux multipliait par cent la

production réelle d'eau du *Garoé* ! Très vraisemblablement, ce n'était qu'un gros exemplaire d'*Ocotea foetens*, un laurier endémique des Canaries et de Madère localisé dans les vallons forestiers.

La capture des eaux du brouillard par les végétaux

Sans laurier, il est possible d'obtenir le même résultat avec une autre espèce. Sur Hierro, d'autres bons capteurs sont les genévriers de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) dont un gros exemplaire désaltéra les pèlerins de Cruz de los Reyes jusqu'en 1990. Sous cet arbre, Don Zósimo y avait aménagé, dans les années 80, des réservoirs étanches recueillant l'eau tombée du feuillage. Les pins canariens (*Pinus canariensis*), grâce auxquels s'abreuvent toujours les troupeaux dans la

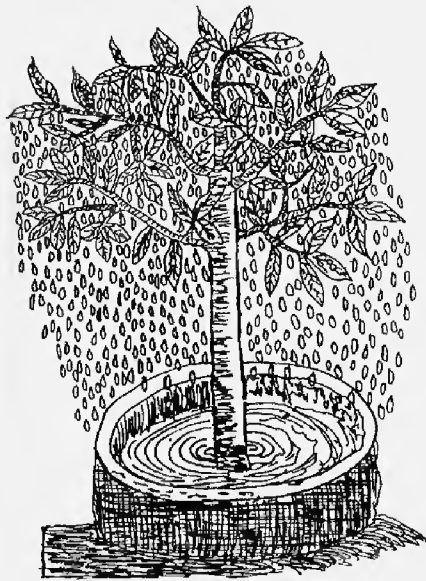
zone du Mirador de los Bascos, sont aussi excellents. Sur l'île voisine de Gomera, ce sont les bruyères arborescentes (*Erica arborea*, *E. scoparia platy-*



Aménagement pour recueillir l'eau de l'arbre-fontaine de Cruz de los Reyes. Sous le genévrier, un fin voile de ciment a été posé tandis que les réservoirs clos où le liquide est stocké sont visibles à l'arrière plan. Photo : Don Zósimo.

codon) qui sont les meilleurs arbres-fontaines, selon les études menées dans le Parc National de Garajonay.

Une espèce végétale spécifique ne crée donc pas la fontaine, par contre, c'est bien la position micrométéorologique de l'arbre qui détermine sa bonne ou mauvaise production d'eau. Les localités ventées sont favorables : cols, crêtes ou débouchés de canyons tandis que les arbres-fontaines sont isolés, groupés en boqueteaux ou situés aux marges forestières car la turbulence doit être maximale autour d'eux ; le vent doit permettre que l'eau des brouillards, déjà condensée sous forme de gouttelettes (de l'ordre de 10 micromètres de diamètre), se dépose de façon intense. Ensuite, avant que l'eau de ces gouttelettes soit reprise par l'évaporation, il est indispensable que ces dernières grossissent par coalescence, atteignent une masse suffisante pour glisser sur les feuilles et tomber au pied des arbres-fontaines. Expérimentalement, sous les tropiques arides, pareilles situations se rencontrent seulement sur les versants au vent des basses montagnes (largement sous 2 000 m) à quelques ou à des dizaines de kilomètres de la mer.



Le Garoé ou ancien arbre-fontaine des Canaries disparu au XVII^e siècle. Extrait de BALDINI, 1993.

Pour conclure, disons qu'en 1968 le sud-africain Kerfoot rédigea déjà une analyse toujours actuelle sur les précipitations de la bruine (autrement dit le brouillard) sur les végétaux, un travail paru dans la revue *Forestry Abstracts*.

D'autres anciens arbres-fontaines africains

Au large du Cameroun sur la montagne principale de l'île de São Tomé, un navigateur portugais, resté anonyme, décrit dans son journal de bord (daté d'environ 1545) des arbres-fontaines dans une forêt humide : "Cette brume qui, de jour et de nuit, ne parvient pas à se dissiper [...] se condense sans cesse, retombant en pluie sur le feuillage de ces arbres". Ici, le brouillard n'est qu'un nuage entrant en contact avec la montagne.

Lors de la grande sécheresse de 1942, sur l'île de Brava de l'archipel du Cap-Vert, un paysan, Hermógenes Gonçalves, recueillit jusqu'à 20 litres par jour d'eau du brouillard avec un seul pied d'un grand agave américain (*Furcraea gigantea*). Ensuite dans les années 60, le bioclimatologiste portugais Reis F. Cunha montra l'utilisation du palmier-dattier (*Phoenix dactylifera*) aux mêmes fins et toujours sur l'archipel cap-verdien.

Au sud de Suakin au Soudan et dominant d'environ 1 000 m la Mer Rouge, existait l'oasis du brouillard d'Erkwit où les arbres-fontaines étaient les acacias parasols (*Acacia tortilis spirocarpa*). Découverte par les scientifiques dans les années 30, elle fut malheureusement détruite complètement par l'homme, moins de trente ans plus tard.

De nombreuses localités favorables en Afrique

Néanmoins, il existe encore des oasis de brouillards sur les chaînons qui dominent la Mer Rouge, de l'Égypte au nord jusqu'à la Somalie au sud et sur l'île de Socotra. Ainsi, à la frontière entre l'Égypte et le Soudan, l'écosystème d'altitude du Gebel Elba bénéficia d'un programme d'inventaire en 1985 grâce au WWF. La forêt de Day où l'arbre dominant est le genévrier (*Juniperus procera*) constitue un île verte dans les déserts de Djibouti. Étudiées par Jacques Blot dans les années 80, les précipitations du brouillard rapportées au volume foliaire sont estimées sous *J. procera* à 9,4 litres/m³ pour une durée de 24 heures, sous l'acacia (*Acacia etbaïca*) à 4,2 litres/m³ et sous le buis

(*Buxus hildebrandtii*) à 1,2 litres/m³. Pareille variation est due à la structure, à la densité du feuillage et à la morphologie des feuilles.

L'Afrique du Sud, comme la Namibie, constitue aussi un terrain très favorable pour les précipitations du brouillard en zone aride et semi-aride. Au-dessus du Cap, Nagel étudia pendant cinq années le climat de la Montagne de la Table où, vers 1 000 m, les précipitations du brouillard sont trois fois plus importantes en hauteur que celles de la pluie.

Pour mémoire, rappelons que les forêts de nuages existent loin des zones côtières ou des régions insulaires. Il en existe des variétés sèches particulièrement développées en Afrique orientale (forêts à *Juniperus procera*) ou, plus fréquemment (mais cela est hors de notre sujet) des variétés humides ou hyperhumides, toujours dans cette même région.

Enfin, si le déboisement est trop accentué en zone aride, l'eau du brouillard peut être récupérée à différentes fins (alimentation du bétail voire des hommes, aide à la reprise de jeunes plants, etc.) grâce à des filets en polyéthylène mis face au vent. Sur l'île de Santiago de l'archipel du Cap-Vert, les expériences sont menées notamment par Antonio Sabino. La Société REMI (antérieurement ESTRATUS) s'est spécialisée dans la mise en place sur le terrain de milliers de mètres carrés de filets attrape-brouillard, ne coûtant que quelques francs le m². Il s'agit donc d'une technique peu onéreuse, bien adaptée aux pays en voie de développement.

L'arbre-fontaine : défense et illustration des forêts de montagne

L'arbre-fontaine de Hierro n'est pas seulement une curiosité botanique mais, bien aussi, une illustration des forêts de nuages (les *cloud forests* des anglo-saxons) qui couvrent environ le quart des quelques 204 millions d'hectares des zones boisées des montagnes tropicales. Et, parmi les espèces des zones arides, ne trouve-t-on pas le petit ligneux qu'est le caféier *Arabica*, originaire des hauts plateaux éthiopiens. L'arbre-fontaine de Hierro nous a per-

BIBLIOGRAPHIE

BALDINI, E., 1993.- *Advances in Horticultural Sciences*, 7: 37-41.

BOULOC J., 1993.- *La Houille Blanche*, 5: 337-344.

GIODA A. & BALADON A., 1991. L'importance des précipitations occultes sous les tropiques secs. *Sécheresse*, 2 (2) : 132-135.

mis, en contant une histoire, d'attirer l'attention sur la préservation de ces forêts qui sont les plus menacées dans la zone intertropicale, selon un travail

GIODA A. et al., 1992.- *La Recherche*, 23 (249): 1400-1408.

GIODA A. et al., 1993.- *Veille Climatique Satellitaire*, 46: 38-49.

GIODA A., ESPEJO R. & BLOT J., 1994. Les arbres fontaines. *Sécheresse*, 5 (4) : 237-243.

HAMILTON L.S. et al., (eds.), 1995.- *Tropical montane cloud forest*. Springer Verlag, New-York, *Ecological Studies* n° 110, 407 p.

récent de la FAO. La conservation d'écosystèmes naturels sera toujours plus aisée que la création de barrières vertes dont la faillite a fait beaucoup de

mal à la foresterie des zones arides. À l'inverse, un travail local, comme la plantation d'arbres-fontaines et leur aménagement par Don Zósimo, contribue, encore maintenant près de 50 années après le début de son action, à donner une conscience écologique et historique à toute la population de l'île de Hierro.

Alain GIODA (ORSTOM),
Zósimo HERNÁNDEZ (ex-ICONA),
A. ACOSTA BALADÓN (ex-OMM),
J. BLOT (SIRID-Bordeaux)
ORSTOM CP 2352
Cochabamba
BOLIVIE

11

L'EAU, LA VÉGÉTATION ET LES SOLS AU SAHEL

Le Sahel, au sens "Afrique noire" du terme, est limité par les isohyètes 200 et 500 mm. Il ne comprend que très peu de forêts au sens strict, celles-ci se cantonnant au bord de cours d'eau et de lacs relativement importants (forêts ripicoles).

L'arbre, cependant, est loin d'être absent des formations végétales de la zone puisque la steppe à épineux est la formation prédominante du Sahel.

LE CLIMAT : cause du Sahel

Le climat est la première cause de ce paysage particulier qui règle toute la vie de la région. Ce climat est caractérisé par :

- une saison sèche, très chaude, désertique, de plus en plus longue au fur et à mesure qu'on remonte vers le nord ;

- une saison humide, centrée sur août, à durée plus ou moins longue, caractérisée par des pluies discontinues, généralement d'assez forte intensité ;



Paysage sahélien (Sénégal). Photo : R. M. ROCHETTE.

- un déficit de saturation très élevé en saison sèche, notamment de décembre à mars du fait de l'armattan.

À titre d'exemple, une ville comme Tahoua (Niger), en zone sahélienne, a une pluviométrie moyenne de 407 mm avec un minimum de 208 mm et un maximum de 611 mm. Remarquons qu'il existe des zones où

les différences de pluviométrie sont beaucoup plus marquées (Nordeste du Brésil par exemple) mais il en est peu, mis à part les zones désertiques, où le déficit de saturation est aussi marqué.

La quantité d'eau tombée au cours de l'année n'est donc qu'un indicateur d'un faible intérêt pour caractériser le Sahel. Le mode d'apport de cette eau est loin d'être négligeable ; car la pluie

Pâturage au Sahel. Photo : R. M. ROCHETTE.

est une cause importante de l'érosion des sols dans cette région.

Tout sol se trouve en effet soumis, au moment des pluies, à une action mécanique des eaux qui a tendance à désagréger les éléments du sol et à entraîner les éléments les plus fins vers le bas. Nous dirons que cette érosion est fonction :

12

- de la hauteur d'eau tombée : il faut un minimum d'eau pour déclencher la fuite des éléments fins, une partie de l'eau s'infiltrant ou étant évaporée ;

- de l'intensité de la pluie : c'est un facteur très important et qu'il est facile de comprendre : une averse drue ayant une action mécanique plus forte qu'une bruine et la quantité à évacuer en un instant donné étant beaucoup plus forte, un facteur "R" caractérise l'agressivité des pluies ; ce facteur est grossièrement une fonction de la hauteur d'eau et de l'intensité de la pluie, sa connaissance est primordiale en Afrique car de nombreuses pluies tombent en tornade ;

- de la fréquence des pluies : l'action d'une pluie tombant sur un sol sec étant moins grave que celle d'une pluie tombant sur un sol humide ;

- de la répartition des pluies : les premières, plus agressives que les suivantes, sont, de ce fait, plus dangereuses ;

- de la structure du sol ;

- de la perméabilité du sol ;

- de la pente : c'est là un des facteurs les plus importants sur lequel on peut d'ailleurs agir ; l'érosion croît extrêmement rapidement avec la pente des sols ;

- de la couverture végétale : c'est là probablement le facteur primordial : sous forêt ou sous prairie dense, l'érosion est quasiment nulle ; elle s'élève pour la brousse secondaire pour devenir intense sous culture et catastrophique sur sol nu ;

- de la nature des cultures et des méthodes culturales.



À Ibohamane (région de Tahoua), une retenue hydroagricole construite par le Génie Rural, alimentée par un bassin versant de 125 km², a reçu au cours de la saison des pluies 1971, 70 000 m³ d'alluvions, ce qui représente environ 125 000 tonnes de matériaux, correspondant à une érosion de dix tonnes par hectare du bassin versant, ce qui est dramatique (autant d'ailleurs pour la qualité agronomique des sols du bassin versant que pour la capacité de la retenue et la viabilité de l'aménagement hydroagricole qu'elle alimente).

La diminution de la couverture végétale du Sahel due, pour la plus grande part, à une surexploitation des sols, s'est traduite par une érosion toujours plus importante qui a été dénommée, abusivement, *désertification*.

Les crues des fleuves ne cessent de s'élever, preuve que l'eau s'évacue de plus en plus rapidement. Ainsi, le débit des crues annuelles du fleuve Niger à Niamey, calculé selon les données antérieures à 1960 prévoit une crue médiane de 1 850 m³/s et une valeur centenaire de 2 200 m³/s. Or le 18 février 1968, le fleuve Niger à Niamey charriait 2 330 m³/s alors que la pluviométrie de l'année précédente n'était en rien extraordinaire. Ces crues centennaires à répétition témoignent bien d'une dégradation du bassin versant principalement due au déboisement des bords du fleuve Niger.

Parallèlement, moins l'eau s'infiltré, plus la nappe phréatique baisse. Les puits s'assèchent, les arbres dépérissent et ne se régénèrent plus, finissant par disparaître et aggravant, par ce cercle vicieux, le processus de désertification.

L'ÉROSION : antichambre de la désertification

L'érosion est favorisée par un certain nombre de causes dont, à l'origine, l'homme est toujours le responsable. Ces causes sont : la déforestation, le surpâturage et les feux de brousse.

La déforestation

Elle a deux origines : la recherche de bois de feu et la mise en culture.

Le commerce de bois de feu entraîne la formation de vastes auréoles dépourvues de toute végétation autour des villes, tant pour les besoins domestiques des populations que pour des besoins artisanaux et même industriels (fumage de poisson, cuisson de briques,...).

L'expansion démographique justifie des mises en culture toujours plus grandes, une réduction des jachères et la recherche de nouvelles terres plus au nord, dans des conditions de rendements de plus en plus aléatoires sur des sols plus vulnérables.

Le bétail

Toute la zone sahélienne et sahélo-saharienne est un vaste secteur de parcours des animaux et la population y est, pour la plupart, vouée à l'élevage. L'action du bétail et du pasteur sur la végétation va avoir une répercussion importante sur l'érosion :

- action sur la végétation herbacée : excepté à proximité des enclos, des puits et des forages, il n'y a pas de modification profonde des associations végétales et on peut admettre que le tapis herbacé n'est pas directement menacé ;

- action sur la régénération arbustive : l'extension du bétail est un handicap sérieux, il faudrait prévoir des mises en défens périodiques ;

- surpiétinement : cette action est très visible et importante autour des points d'eau et notamment des forages ; les animaux parcourant huit à douze kilomètres autour du forage pour se nourrir ; avec l'augmentation du nombre de forages profonds, on a assisté paradoxalement à l'augmentation du bétail, celui-ci mourant de faim au milieu d'une abondance d'eau !

- ébranchage : cette pratique, utilisée par de nombreux pasteurs, est favorable à l'alimentation du bétail mais, mal pratiquée, elle favorise l'épuise-

ment des arbres ébranchés qui deviendront la proie des feux de brousse.

Les feux de brousse

Même au Sahel, les feux de brousse passent dans la maigre végétation. Ils dénudent le sol et favorisent donc l'érosion éolienne et pluviale. Ils réduisent la masse de fourrage disponible pour les animaux ainsi que les régénérations ligneuses et la couverture arborée.

DES ACTIONS : contre la désertification

Si la "désertification" était due à des modifications climatiques profondes, il n'y aurait pas grand chose à faire ; ce n'est heureusement pas le cas puisque ce phénomène est essentiellement le fait de l'érosion. Et on connaît des moyens d'y remédier tant par des actions agrosylvopastorales que par des actions de développement.

Il faut d'abord aménager les espaces en vue de leur exploitation rationnelle, c'est-à-dire quantifier les potentiels de récolte et limiter la récolte à ces potentiels. Il faut ensuite restaurer ces

Haie anti-érosive dans les dunes de Goudoumaria (Niger).
Photo : R. M. ROCHETTE.



13

espaces, en vue d'accroître leur potentiel, par des mises en défens, par des procédés de Défense et Restauration des Sols (DRS), par des améliorations culturales. Quelques exemples : la confection de banquettes et de fossés d'infiltration, la constitution de terrasses par levées de terre, alignement de cailloux ou plantations de cordons d'*Andropogon gayanus* (cette graminée dont on est loin d'avoir exploité toutes les capacités). Plus simplement, et c'est là où les actions de développement prennent tout leur sens, par la formation et l'encadrement des agriculteurs pour les inciter à labourer et à billonner selon les courbes de niveau, à prévoir des rotations culturales ou de pâturage, à préserver les arbres existants, à respecter les régénérations et celles de *Faidherbia albida* en particulier, à intensifier les cultures partout où c'est possible sans risques pour l'environnement (bas-fonds), à récolter le fourrage, à planter des arbres fruitiers,...

Il faut enfin traiter le problème urbain à part, le Sahel ne pouvant subvenir seul à l'approvisionnement énergétique de villes de centaines de milliers d'habitants. Les plantations forestières, l'exemple l'a prouvé, ne pourront jamais y remédier, et il vaut mieux investir ailleurs dans le même but, en subventionnant par exemple des réchauds à pétrole.

Comme il est curieux d'aboutir à ce carburant à l'issue d'une telle réflexion !

Jean Claude DELWAULLE
International
26, rue du Maréchal Foch
03200 Vichy
FRANCE



Feux de brousse. Photo : R. M. ROCHETTE.

BILAN DE L'EAU ET ÉROSION EN FORÊT DENSE HUMIDE GUYANAISE

14

L'opération ECEREX

Cette opération engagée dans la fin des années 70 avait pour but de tester l'influence à long terme (on dirait aujourd'hui "la durabilité") d'aménagements agricoles réalisés après déforestation en Guyane française.

La méthodologie employée consistait en une comparaison, sur un certain nombre de bassins versants élémentaires, de différents traitements entre eux (dont des témoins maintenus en forêt naturelle) ; chaque traitement étant lui-même comparé avec l'état initial antérieur à l'aménagement.

Ainsi le fonctionnement hydrologique des bassins élémentaires a-t-il été étudié pendant deux ans sous couverture forestière originelle, ce qui a permis d'expliquer à partir d'un grand nombre d'observations tant climatiques qu'hydrologiques et pédologiques, les termes du bilan de l'eau.

Ces mêmes observations ont été poursuivies tout au long du processus de transformation (déforestation et plantations) et pendant une bonne dizaine d'années après, jusqu'au constat de stabilisation des événements.

Hydrologie et érosion sous couvert forestier

Les précipitations qui tombent sur la forêt n'arrivent pas toutes au sol. Une fraction des pluies, interceptée par le feuillage, est directement évaporée. Une autre fraction, la plus importante, arrive finalement au sol (dont une partie atteint le sol par écoulement le long des troncs).

L'eau arrivant au sol s'infiltré pour partie et, pour une autre partie ruissel-

le, déclenchant une crue. L'eau qui s'infiltré a plusieurs destinations. Elle participe d'abord à l'évapotranspiration réelle par transpiration des végétaux et évaporation du sol. Elle s'écoule latéralement à travers les horizons superficiels, après les avoir saturés. Elle traverse enfin ces horizons, pour alimenter la nappe souterraine. En cas de remontée de cette nappe jusqu'au niveau d'un thalweg, cette eau peut également s'écouler et participer à la crue.

Durant la période d'étude (les deux ans préalables à la réalisation des aménagements), la pluviométrie annuelle sur le site d'ECEREX a été de 3 400 mm (elle est en moyenne comprise entre 3 500 et 3 900 mm).

La saison pluvieuse s'étend de mi-novembre à mi-août. Une petite saison sèche peut apparaître de février à avril ("petit été de mars"), mais elle passe souvent inaperçue. Par contre, la grande saison sèche est très marquée et il peut alors ne pas pleuvoir du tout pendant plus d'un mois.

L'évapotranspiration réelle a été évaluée à 1 470 mm. Elle se décompose, en moyenne, en 510 mm dus à l'interception par les feuillages, en 890 mm dus à la transpiration et 70 mm d'évaporation.

L'écoulement de l'eau le long des troncs est inférieur à 1% de la pluie incidente.

L'écoulement global représente 10 à 44% de la pluviométrie. Il se partage entre le ruissellement (compris entre 4 et 26%) et un écoulement de base (ou différé) de 1 à 20%.

La quantité d'eau venant alimenter la nappe varie de 9 à 45% de la pluviométrie incidente.

Il a été prouvé que la nature des sols et des sous-sols était l'élément déterminant pour expliquer ces larges variations, par leurs capacités de drainage.

Des bassins où le drainage vertical est le plus libre à ceux où il est le plus ralenti, le ruissellement augmente dans un rapport de 1 à 6 alors que la capacité de rétention des bassins diminue dans un rapport de 1 à 3 et la vidange des nappes dans un rapport de 1 à 2.

L'érosion mécanique a été évaluée et se trouve comprise entre 0,2 et 1 t/ha/an selon les bassins, niveau particulièrement faible en raison de la protection des sols conférée par la voûte forestière, la litière et les racines.

Évolution du bilan de l'eau après défrichement et aménagements agricoles, pastoraux et forestiers

Une fois les bassins étalonnés sous forêt naturelle, certains ont été soumis à une exploitation forte (type papetier) suivie d'un défrichement intégral. Le défrichement, outre qu'il supprime le couvert végétal, entraîne une détérioration des sols par tassement et omières.

La destruction de la forêt dense entraîne immédiatement une augmentation importante de l'eau circulant à la surface du sol ainsi que des départs en terre.

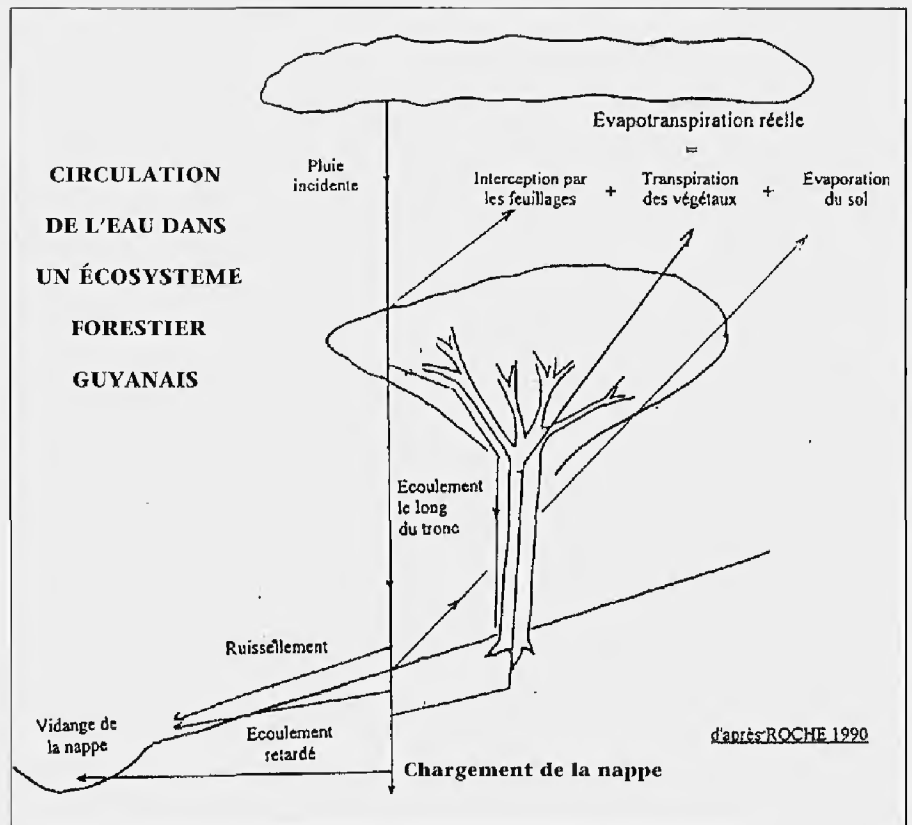
Sur sols à drainage libre, le rapport au milieu naturel est de 2,7 pour le ruissellement et de 2,2 pour l'ensemble des crues. Toutefois les valeurs absolues de ces écoulements restent toujours modestes, l'ensemble des eaux de crues sur sol nu représentant seulement 22% de la pluviométrie.

Sur sols à drainage bloqué, l'augmentation du nombre de crues est 1,4 à 2,3 fois celle du milieu forestier initial. Ruissellement et écoulement augmentent dans une proportion de 1,5 à 1,9 fois. L'érosion atteint alors des chiffres de 3 à 12 t/ha/an, ce qui est grave.

Mais au bout de quelques années, on retrouve sous prairie et sous plantations forestières (pins - eucalyptus) des bilans hydriques proches de ceux constatés en l'état forestier initial.

Conclusion

L'opération ECEREX a prouvé que des aménagements bien conduits après transformation de l'écosystème forestier initial ne modifiaient pas sensiblement son régime hydrologique de base. Tout l'impact réside dans la phase de déforestation et de préparation des sols. C'est donc bien la qualité de cette intervention qui est déterminante et qui justifie de veiller à ne travailler qu'avec des engins bien adaptés (bulles avec rateaux), en saison sèche, avec un



Bilan hydrologique et érosion constatés sous bassins versants forestiers (en %)

Bassins	A	B	C	D	E	F	G	H
Pluviométrie	100							
ETR	43	44	44	43	44	47	47	47
Ruissellement	16	15	4	13	10	26	22	23
Écoulement retardé	4	4	6	20	1	18	17	17
Chargement de la nappe	38	37	46	42	46	9	14	14
Érosion (t/ha/an)	1	0,6	0,2	0,6	0,3	0,5	0,4	0,6

C : bassin à drainage vertical libre
 AFGH : bassin à drainage vertical bloqué
 BDE : bassins mixtes

andainage en courbes de niveau et le rebouchage des trous et ornières. La destruction de la forêt naturelle ne s'impose cependant que pour des aménagements agricoles dont la pérennité est assurée.

Jean-Michel SARRAILH
 CIRAD- Forêt
 BP 10001
 98805 Nouméa cedex
 NOUVELLE CALÉDONIE

Pour en savoir plus

SARRAILH J.M., 1990. *Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais*. INRA - CTFT.

FRITSCH J.M., 1992. *Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture*

sur l'hydrologie de petits bassins versants. ORS-TOM.

et dans l'ouvrage synthétique cité en premier, les contributions de M. DUCREY et J.M. GUEHL et de M.A. ROCHE.

LES FORÊTS INONDÉES DU NORD-CONGO

Introduction

Le Congo couvre une superficie de 342 000 km². Il s'étend de part et d'autre de l'équateur, à cheval sur les deux hémisphères.

La forêt dense équatoriale, avec ses vingt millions d'hectares, occupe environ 60% du territoire national répartis en trois massifs :

- le massif du Mayombe (au sud avec 1,3 millions d'hectares) ;
- le massif du Chaillu (au sud avec 3,2 millions d'hectares) ;
- le massif du Nord-Congo (avec 15,5 millions d'hectares).

C'est dans la Cuvette congolaise que se rencontre la plus grande partie des forêts inondées du Congo avec près de huit millions d'hectares (six millions selon SITA, 1990). Elles baignent dans les eaux du fleuve Congo et de ses affluents. Parmi les espèces végétales qui les constituent, on trouve des essences commerciales, telles que le Sapelli (*Entandophragma cylindricum*), le Sipo (*E. utile*) et le Limbali (*Gilbertiodendron dewevrei*).

État des connaissances

La flore des vastes étendues forestières du Nord-Congo est encore mal connue, (HECKETSWEILER *et al.*, 1991 ; DOWSETT-LEMAIRE, 1991). Pendant longtemps, ces forêts septentrionales ont été beaucoup moins prospectées que celles du sud du pays. Les connaissances sur les forêts inondées sont encore plus faibles, à cause de leur accès difficile, leur étude nécessitant d'importants moyens.

Les rapports des missions d'inventaire, de pré-inventaire forestier ou de prospections diverses qui y ont été réalisées, sont souvent rares dans les services ou centres de documentation locaux.

Conditions particulières des sols

Les sols des forêts inondées sont essentiellement hydromorphes, occupant le centre de la Cuvette congolaise et les vallées marécageuses qui convergent vers cette zone. Il s'agit de sols tourbeux, semi-tourbeux ou hydromorphes minéraux (BOISSEZON *et al.*, 1969).

La durée et le rythme de l'inondation des terrains influencent fondamentalement la composition floristique de ces formations végétales. Le sol, humide et boueux, est souvent soulevé au pied des arbres ; ceux-ci semblent donc pousser sur des buttes. Face à ces conditions spécifiques de sol, plusieurs espèces ont développé des adaptations particulières tels des contreforts et des racines échasses (DESCOING, 1969).

Formations végétales

Selon SITA (1990), quatre types de végétation constituent la forêt du Nord-Congo : la forêt véritablement inondée, la forêt inondable, les raphiales et la forêt marécageuse de la vasière congolaise.

HECKETSWEILER *et al.* (1991) citent un grand nombre de formations végétales pour cette zone :

- les forêts marécageuses à *Mitragyna stipulosa*. Elles occupent les fonds des vallées de certains cours d'eau et les bordures des dépressions humides couvertes de formations herbeuses à Cyperacées. Les terrains sont humides en permanence et périodiquement inondés. La nappe phréatique serait proche de la surface. Le sol est souple, parfois spongieux ;

- les forêts marécageuses à *Uapaca heudelotii* se rencontrent sur les rives basses des rivières et bas-fonds et sur les bords de marigots. La nappe phréatique

serait aussi proche de la surface du sol, car celle-ci est toujours assez humide (même en grande saison sèche). Le sol est submergé pendant la saison des pluies ;

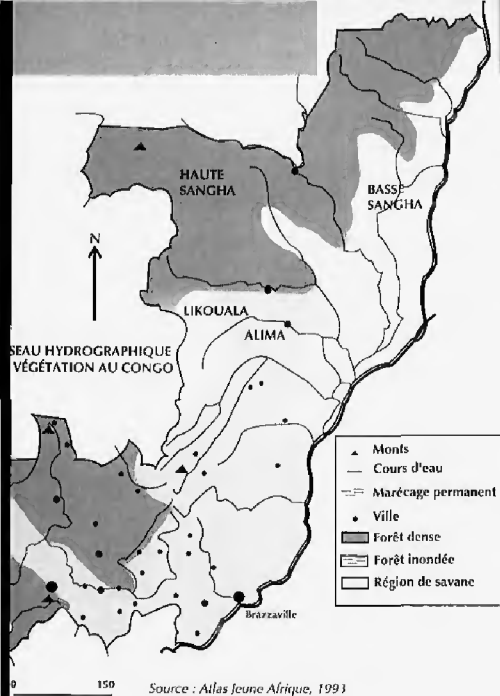
- les forêts inondables à *Guibourtia demeusei* occupent les rives hautes des rivières et les terres légèrement surélevées en arrière des rives. Elles n'existent pas dans des zones inondées en permanence. Le sol est généralement bien drainé, mais il est inondé pendant les crues ;

- les forêts ripicoles inondables existent sur les berges surélevées des rivières ;

- les peuplements marécageux monospécifiques ou plurispécifiques (une espèce peut être nettement plus abondante que les autres) sont notés à certains endroits. On distingue ainsi des fourrés à *Pandanus candelabrum*, des peuplements à *Phoenix reclinata*, des raphiales et des savanes à Cyperacées.

Il y a aussi des formations herbeuses marécageuses. Elles sont basses avec un sol un peu humide et bourbeux par endroits. Ces peuplements sont essentiellement constitués par des Cyperacées et des Graminées. Dans les fonds de vallées et des dépressions mal drainées, des forêts galeries sont fréquentes ; les raphias y sont très présents.

MITANI *et al.* (1993), travaillant dans la zone de Ndoki (région de la Sangha) observent quatre types de forêt : la forêt marécageuse, la forêt riveraine à *Gilbertiodendron dewevrei*, la forêt à espèces mixtes et la forêt sur terre ferme à *Gilbertiodendron dewevrei*. La forêt marécageuse est composée d'une forêt riveraine à Raphia (raphiales) et une forêt marécageuse inondée dont les terrains sont submergés d'eau toute l'année d'une part, et d'une formation herbeuse marécageuse dont l'inondation du terrain est saisonnière d'autre part.



Source : Atlas Jeune Afrique, 1993

Les primates

La richesse en primates est signalée par divers travaux. Une équipe japonaise est très active principalement dans la forêt de Ndoki (MITANI, 1990 et 1992 ; MITANI *et al.*, 1993 ; NISHIHARA, 1992). Des rapports du programme Écosystèmes Forestiers d'Afrique Centrale (ECOFAC) renseignent sur la richesse faunistique des aires protégées étudiées, celles-ci touchant certaines zones inondées.

Dans la zone de Ndoki, MITANI *et al.* (1993) estiment que la densité des gorilles est de quatre à cinq individus par km². Sept groupes sociaux de ces primates et environ deux chimpanzés par km² existent. L'étude menée par Steve BLAKE de l'Université d'Édimbourg (ANONYME, 1994) dans la région de la Likouala signale une concentration d'environ cinq gorilles au km² dans la zone de Botala. Ceux-ci peuvent rester longtemps dans les marécages sans avoir besoin de se retirer sur la terre ferme durant la saison des pluies. Par ailleurs, selon la même étude, la répartition des gorilles semblerait être étroitement liée à celle de la forêt dominée par les *Raphia*. Au contraire d'après plusieurs autres études conduites en Afrique centrale, les densités élevées des gorilles dépendraient de celles des *Marantacées* et des *Zingibéracées*.

Perturbations des forêts

À cause de leur accès difficile, les forêts inondées seraient un refuge pour la flore et pour la faune. Mais ce patrimoine commence à être perturbé ; des prospections de plus en plus nombreuses y sont menées (études de la faune et de la flore, exploration des

richesses du sous-sol), sans oublier l'exploitation du bois. L'étude de BLAKE (ANONYME, 1994) rapporte, par exemple, pour la forêt inondée de la région de la Likouala (zone de Botala), une incidence néfaste sur les populations animales engendrée par une route créée récemment. La chasse y est désormais la plus importante source de revenus de la population, celle-ci devenant la principale activité dans la forêt marécageuse le long de la route Impfondo-Epena. Il y a aussi une modification du mouvement des éléphants, qui seraient bloqués dans une zone. L'ouverture des voies d'accès (canaux navigables, pistes, etc.) est préjudiciable à la sauvegarde de la flore et de la faune.

Par ailleurs, des transformations des forêts marécageuses de la Cuvette congolaise après le passage de feu ont été signalées. La forêt serait remplacée soit par des formations secondaires à palmiers *Raphia spp* dans les zones où les eaux sont peu profondes, soit par des prairies ou des pelouses flottantes là où les niveaux d'eau sont plus importants (J. P. PROFIZI, communication personnelle, 1994).

Problématique de gestion-Conclusion

La sauvegarde des forêts inondées qui constituent un écosystème particulier, et la conservation des espèces qui les composent devraient être une préoccupation pour la communauté scientifique nationale et internationale, au moment où on parle de la protection des forêts tropicales. L'Agenda 21 de la conférence de Rio de Janeiro de 1992 devrait, plus que jamais, être appliqué ici pour une meilleure gestion de ces forêts du Nord-Congo, en tout cas mieux que l'ont été les forêts marécageuses du littoral qui sont en nette régression, alors qu'elles n'ont pas encore été suffisamment étudiées. Les mangroves congolaises ne représentent qu'une faible superficie (MAKANY, 1963 ; SITA, 1990).

Les marécages constituaient une protection naturelle des forêts ; ils handicapaient un certain développement de ces régions. Ce handicap commence à être surmonté. L'on peut s'interroger sur leur avenir, en pensant aux moyens dévastateurs pouvant être utili-

sés par l'homme contemporain, surtout dans des zones où l'impact écologique des prospections est peu suivi comme au Congo. Les perturbations liées à la population locale peuvent être aussi préoccupantes. Les villageois ouvrent des canaux navigables de trois à quatre mètres de largeur dépassant parfois vingt kilomètres de longueur, canaux utilisés par les chasseurs pour pénétrer le cœur de la forêt dans la région de la Likouala (ANONYME, 1994).

Les objectifs de conservation du projet ECOFAC dans la zone du Nord-Congo contribuent à la sauvegarde des forêts inondées, en tenant compte des travaux entrepris dans les trois aires protégées de la région de la Cuvette (Parc national d'Odzala, Réserve de la faune de la Lékoli-Pandaka, Domaine de chasse de Mboko). De même, la gestion du Parc national de Nouabalé-Ndoki, situé à cheval entre les régions de la Sangha et de la Likouala, devrait aussi servir de moteur aux préoccupations écologiques portant sur les écosystèmes évoqués ici.

Joël J. LOUMETO
Faculté des Sciences
BP 2820 Brazzaville
CONGO

Georges C. BOUNDZANGA
Direction Régionale des Eaux et Forêts
BP 14536 Brazzaville
CONGO

Bibliographie

- ANONYME, 1994. Population animale et son exploitation dans la forêt marécageuse de la Likouala. *Canopée*, 2, 4-5.
- BEGUE L., 1967. Les forêts du Nord de la République du Congo (Brazzaville). *Chronique phytogéographique. Bois et Forêts des Tropiques*, 111, 63-76.
- EVARD C., 1968. Recherches écologiques sur le peuplement forestier des sols hydromorphes de la Cuvette centrale congolaise. *Publication INEAC, sér. sci.*, 110, 295 p.
- HECKETSWEILER P., DOUMENGUE C. et MOKOKO IKONGA J., 1991. Le Parc National d'Odzala, Congo. *UICN*, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, 334 p.
- SITA P., 1975. Aperçu sur la végétation forestière du Nord-Congo (secteur de Ngbela, Fort-Soufflay) *ORSTOM*, 61 p.

LES PINOTIÈRES DE GUYANE

Le pinot, un palmier qui ne manque pas de coeur

18 La forêt guyanaise, surtout considérée pour la production de bois d'oeuvre recèle encore d'autres richesses qui, bien que secondaires, ont généré autrefois des courants d'affaires importants (essence de bois de rose, gomme de balata,...).

Parmi ces ressources, la récolte de coeurs de palmiers pour la consommation individuelle est connue depuis fort longtemps et FUSET-AUBLET écrivait déjà en 1775 : "La tête de tous les palmiers est bonne à manger : l'on préfère les espèces qui ont les plus grosses têtes ; c'est ce qu'on appelle chou - palmiste...".

Le palmier pinot, *Euterpe oleracea*, est un palmier élégant, cespiteux¹ au stipe grêle et élevé, facilement reconnaissable. Il porte le nom d'*assaï* (ou *açai*) au Brésil, de *manaca* (ou morroque) au Venezuela, d'*assai* (ou euterpepalm) au Surinam. Le palmier pinot peut constituer des peuplements quasi-purs et on parle en Guyane de pinotièr dès que ce peuplement est composé au moins de 50% de pinots.

La vocation principale de l'espèce est de fournir un légume : le coeur de palmier (ou chou), le *palmito* du Brésil.

Au Brésil, principal producteur, la production de *palmito* est passée, en Amazonie, de 35 à 130 millions de tonnes dans les dix dernières années, essentiellement pour la conserverie et l'exportation. Mais un fort marché local se développe aussi rapidement pour le vin d'*açai* produit à partir des fruits.

Un palmier qui aime l'eau

Le palmier pinot, inféodé aux sols hydromorphes, est connu dans toute la Guyane. À l'intérieur des terres, on ne le trouve qu'en bordure des cours d'eau et dans les bas-fonds, généralement en mélange avec d'autres espèces comme *Symphonia globulifera*, *Mauritia flexuosa*.



L'accès aux pinotièr se fait au moyen de layons, établis à partir des berges marécageuses d'une largeur minimale pour assurer le passage d'un homme. Ces layons constituent aussi des voies de débordage. Photo : J. P. RICCI.

En revanche, il constitue de vastes formations monospécifiques sur parfois plusieurs milliers d'hectares, dans les zones marécageuses de la plaine côtière guyanaise, notamment à l'est, en bordure de la frontière brésilienne.

La répartition des pinotièr, qui sont présentes sur des surfaces autrement plus vastes au Venezuela et surtout en Amazonie, est essentiellement due à la présence d'une nappe phréatique aux variations saisonnières bien définies, ainsi qu'à celle des dépôts de "pégasse"² indispensables au développement de ce palmier.

Ainsi, en saison sèche, les terrains sont constitués par une multitude de petits bassins encerclés par les touffes de palmiers exondées. En saison des pluies, l'ensemble est recouvert d'eau sur une hauteur d'environ un mètre, parfois plus.

Un palmier ramifié qui peut s'exploiter durablement

Chez tous les palmiers, la croissance est déterminée par un méristème apical unique. Il n'y a pas de cambium et

donc pas de croissance radiale (les palmiers ne sont pas des arbres). La taille du stipe, sauf modification du régime nutritif, est donc constante.

Une des particularités intéressantes du palmier pinot réside dans le fait qu'il est ramifié. Il passe d'abord par un stade monocaule de quelques années, au cours duquel un manchon de racines aériennes se forme à la base du stipe, et c'est à ce niveau que s'ébauchent alors les axes latéraux qui sont de véritables branches, et non des rejets.

En vieillissant, le pinot acquiert ainsi plusieurs axes dont les hauteurs varient de un à vingt mètres, la touffe pouvant dépasser, à sa base, deux mètres de diamètre.

Le système racinaire du pinot est composé de parties immergées, abondamment ramifiées, et de pneumatophores assurant une fonction respiratoire.

1 Cespiteux : qui forme des touffes.

2 Pégasse : sorte de tourbe plus ou moins spongieuse surmontant l'argile, de 30 à 60 cm d'épaisseur en zone côtière.

Les effectifs de pieds exploitables varient en Guyane, de 700 à 3 500 par hectare. Un chiffre compris entre 2 000 et 2 500 coeurs par hectare peut être avancé comme un ordre de grandeur de la récolte moyenne possible dans ces zones.

Le suivi de placettes permanentes par l'Office National des Forêts en Guyane a permis de confirmer que les individus exploités continuent à se ramifier de la manière exposée plus haut et que la croissance des axes secondaires s'en trouve ainsi favorisée par diminution de la compétition inter-axiale ainsi que par la décomposition des restes du stipe exploité qui vont enrichir le sol.

En conséquence, il semble qu'une exploitation raisonnée des stipes commercialement intéressants ne remette pas en cause la pérennité de la pinotière, à condition toutefois que le remplacement des touffes dépérissantes soit assuré par la régénération naturelle.

Cette exploitation peut donc être comparée à celle d'un furetage de taillis avec une rotation qui pourrait être approximativement de dix ans.

La récolte du pinot

La récolte du pinot est effectuée par des équipes de travailleurs indépendants résidant dans des campements temporaires le long du fleuve. Les stipes sont coupés au sabre à hauteur

de poitrine. La partie terminale, d'une longueur de 50 cm environ, est sectionnée, effeuillée et pré-décortiquée (enlèvement de deux enveloppes seulement pour éviter l'oxydation des coeurs). Les coeurs sont transportés à dos d'homme jusqu'à la rive, en saison sèche, ou collectés dans de petites pirogues poussées à la main en saison des pluies. Ils sont ensuite acheminés jusqu'à la conserverie dans des "tapouilles" (bateaux brésiliens).

Le rendement à l'abattage est de 80 à 85 coeurs par homme - jour, dans des conditions de travail particulièrement difficiles, sur une bande d'environ 1 km de large de part et d'autre du cours d'eau.

Une tentative d'organisation de cette récolte a eu lieu en Guyane dans les années 80. La compagnie concernée possédait deux permis de récolte de 9 200 et 6 500 ha. Ces permis étaient attribués par l'Office National des Forêts aux conditions d'une redevance superficielle annuelle et d'une redevance d'abattage.

Malheureusement, la concurrence brésilienne a eu raison de cette tentative, et la compagnie a dû cesser son activité en 1987.

Un palmier qui n'a pas que du coeur

La mince pulpe des fruits peut être consommée crue, mais elle sert surtout à fabriquer une boisson. Le produit obtenu par trituration dans l'eau a une



Pinotière après récolte, sur un chantier de la compagnie RAIL-FRANCE. Berge de l'Approuague (Guyane).
Photo : J. P. RICCI.



Les coeurs de palmier sont transportés jusqu'à la berge et mis en tas avant d'être chargés sur bateau à destination de la conserverie. Chantier RAIL-FRANCE fleuve Approuague (Guyane). Photo : J. P. RICCI.

À la conserverie, les dernières gaines protectrices du coeur sont enlevées et celui-ci est immédiatement tronçonné en trois ou quatre morceaux de 9,5 cm, aussitôt trempés dans une solution salée additionnée d'acide citrique (antioxydant) puis mis en boîte.

Les boîtes sont passées au bain-marie à 40/60° pendant trois minutes puis serties, et cuites dans un bain à 80/90° pendant une heure. Refroidies à l'air, elles sont ensuite étiquetées, contrôlées (piqûres de rouille fréquentes), puis encartonnées et transportées par petit bateau jusqu'au port de Dégrad-Des-Cannes avant leur acheminement vers la métropole. Il faut 2,2 à 2,3 coeurs pour produire une boîte 4/4 avec un prix de revient moyen un peu supérieur à 10 FF/boîte, dont 2,20 FF de matière première.

Phase ultime de décortiquage des coeurs exécutés manuellement (sabre) au seuil de la conserverie, Chantier RAIL-FRANCE-REGINA (Guyane). Photo : J. P. RICCI.



20

saveur agréable et une grande valeur nutritive. Les populations Bonies du Maroni en font une grande consommation en mélange avec du couac (semoule de manioc).

Les populations amazoniennes l'utilisent également en mélange avec du manioc, du poisson et des crevettes séchées.

Ces fruits constituent également un aliment pour les oiseaux et l'on observe d'importantes migrations (toucans et perroquets) à l'époque de la fructification.

Le stipe est aisément fissile à l'aide d'un sabre et il est assez courant de l'utiliser pour la confection des parois de carbet¹.

L'élégance et la légèreté du port de ce palmier, alliées à un aspect de touffes aux tiges de hauteurs variées, en font un "arbre" d'ornement largement utilisé dans les villes sud-américaines (et particulièrement à Belem).

Perspectives

L'exploitation du coeur de palmier pinot constitue sans conteste une ressource durable du massif amazonien. À notre connaissance, il reste néanmoins un certain nombre d'études à entreprendre pour préciser le rythme des coupes et l'effort de régénération à respecter pour envisager un véritable aménagement des peuplements.

S'agissant des aspects techniques, il est clair que la phase de récolte est le maillon le plus faible de la filière, car il est plus que douteux que la mécanisation puisse remplacer le travail manuel en ce domaine.

En ce qui concerne le transport et la transformation, il faut rechercher encore à diminuer les coûts, peut-être en imaginant des petites unités flottantes et mobiles de mise en conserve.

Pour en savoir plus

FUSET-AUBLET, 1775. *Histoire des plantes de la Guyane française - Observations sur divers palmiers et leurs usages.*

OLDEMAN R.A.A., 1969. *Étude biologique de la Guyane française; cahiers ORSTOM série biol. n° 10.*

CAVALCANTE P.B., 1974. *Frutas comestíveis de Amazonia.* Musée Goeldi. Belem.

FOUQUÉ A., 1985. *Espèces fruitières d'Amérique tropicale.* IRFA.

RICCI J.P., 1990. *Les pinotières.* Bois et Forêts des tropiques n° 200.

Jean-Paul RICCI

ONF Direction Régionale
505, rue de la Croix Verte
Zolad
34094 Montpellier cedex 5
FRANCE

3 Carbet : habitation sommaire en bois dont les toits sont couverts de palmes et les parois sont le plus souvent lattées (bois de gaullettes).



Exemple de mortalité naturelle dans une pinotière en bordure du fleuve Oyapock (stipes défeuillés). Photo : J. P. RICCI.

L'IRRIGATION DES ARBRES FORESTIERS

Cas du Niger



Périmètre au Namardé Goungou. Irrigation gravitaire : distillation de l'eau par carreaux bétonnés. Photo : A. MATYN.

Contexte

Il existe un peu partout dans le monde tropical des régions où la conjonction de facteurs climatiques très rudes et d'une croissance démographique importante rend le potentiel des formations naturelles et des reboisements traditionnels insuffisant pour satisfaire les besoins locaux en bois de feu et de service. L'Afrique tropicale sèche en est une illustration.

Ainsi, dans les environs de Niamey, au Niger, sous une pluviométrie annuelle comprise entre 500 et 600 mm, les peuplements existants, composés de Combrétacées, n'ont qu'une productivité moyenne de 0,5 st/ha/an, et les reboisements en neem et eucalyptus que de 3 à 5 st/ha/an. Il est donc illusoi-

re, dans ces conditions, d'approvisionner par ce seul moyen les 600 000 habitants de la capitale nigérienne dont les besoins en bois de chauffe tournent autour de 110 000 t/an.

En raison de la présence du fleuve Niger, jalonné de nombreux aménagements hydro-agricoles tout au long de son cours (470 km en terre nigérienne), la recherche forestière s'est intéressée très tôt à la possibilité d'irrigation des arbres forestiers à des fins productives (DELWAULLE, 1979). Cette possibilité a été renforcée dans les années 70 par les premières études de faisabilité du barrage de Kandadji qui devait permettre au Service Forestier nigérien de disposer de quelques terres irrigables.

Avantages de la sylviculture irriguée

L'irrigation des arbres a pour but de libérer le forestier des aléas liés à la faiblesse et à la variabilité de la pluviosité. Selon les circonstances, l'irrigation permet :

- d'assurer par un appoint d'eau, la reprise et la survie des plants après leur mise en place ;

- d'assurer en zone aride, mais sur des sols à nappe phréatique accessible, la croissance du peuplement durant les premières années. À l'exception de quelques cas particuliers, cela ne se rencontre pas au Niger où les nappes sont le plus souvent à une grande profondeur (50 m) ;

- d'assurer en zone désertique l'implantation d'un couvert boisé à objectif environnemental. L'irrigation doit alors être permanente. Les besoins en eau sont tels qu'il n'est pas envisageable de satisfaire des besoins de production, sans compter les coûts exorbitants, hors de portée des pays sahéliens ;

- d'assurer en zone sèche, à pluviosité faible et concentrée, à proximité d'une ressource en eau facilement exploitable par pompage, un complément d'approvisionnement, allongeant ainsi la saison pluvieuse et permettant une augmentation sensible des productions.

C'est avec ce dernier objectif qu'ont été réalisés les essais et plantations pilotes du projet forestier du Niger au début des années 80.

Choix des espèces

De nombreuses espèces ont été testées. Aucune ne s'est présentée comme l'espèce "miracle". C'est *Eucalyptus camaldulensis* qui donne, en conditions sèches comme en irrigué, les meilleures productions et les meilleures qualités de produits (dont les perches).

Techniques d'irrigation utilisées

- **La cuvette individuelle** : technique sommaire, devant être limitée à de petites surfaces (recherche) et à des plantations de densité faible à moyenne (3m x 3m ou 4m x 4m).

- **Les casiers planés** : la mise en oeuvre est contraignante (planage et levées de bourrelets périmétraux) et les entretiens mécanisés impossibles. Cette technique se justifie dans le cas de petits reboisements et pour des fortes densités (1m x 2m ou 2m x 2m). De plus, elle est délicate à réaliser sur des terrains pentus et hétérogènes.

- **Les fossés d'infiltration** : pour plantations linéaires ; la mécanisation peut être poussée, tant pour la réalisation des fossés que pour les entretiens. Leur mise en oeuvre ne nécessite qu'un planage grossier, les fossés étant implantés en courbes de niveau. 100 ha ont ainsi été réalisés sur le périmètre de Namarde Goungou à 15 km environ en amont de Niamey.

- **L'irrigation localisée** : c'est la technique la plus séduisante au vu de sa facilité de mise en oeuvre. Des tuyaux perforés sont posés sur le sol, et distribuent, à basse pression, l'eau au pied des arbres. Le procédé qui a été employé sur 140 ha à Namarde Goungou est dit "BRL", pour Bas-Rhône Languedoc, du nom de la société qui l'a mis au point. Ce n'est pas, à proprement parlé, du "goutte à goutte", jugé trop délicat, mais une technique assez similaire ; l'eau étant délivrée à plus fort débit (30 l/h) dans de petits biefs.

Dans ces deux derniers cas, les plantations ont été réalisées sur lignes espacées de 6 m, les arbres étant plantés à 1 m l'un de l'autre sur la ligne.

- **L'aspersion** : aucun terrassement n'est nécessaire, mais l'aspersion n'est efficace que sur de très jeunes peuplements. 30 ha ont ainsi été réalisés en 1983 et 1984 sur le périmètre hydro-agricole de Namari Goungou en amont de Tillabéry, à environ 120 km de Niamey.

Doses apportées

En ce domaine, la notion de coût de fonctionnement est déterminante et prime devant celle de demande climatique. Alors que celle-ci s'élève, à Niamey, à 25 000 m³/ha/an, il a été choisi d'apporter en supplément à la pluviométrie (5 000 m³/ha/an), une dose maximale de 8 000 m³/ha/an par irrigation. En réalité, cette dose n'a été que très rarement atteinte, compte

tenu principalement de la configuration du terrain et des difficultés liées au pompage à partir du fleuve.

Productions

Les productions relevées sur les essais laissaient espérer des chiffres de 15 m³/ha/an (dans le meilleur des cas, des rendements de 25 m³/ha/an avaient été obtenus). En pratique, il a été constaté des productions largement inférieures (6 m³/ha/an) imputables pour l'essentiel à la mauvaise qualité des sols.

Principaux problèmes rencontrés dans les périmètres forestiers irrigués au Niger

Ils sont d'abord d'ordre pédologique. Les sols disponibles, ceux qui a priori étaient impropres à un usage agricole, se sont révélés trop compacts (avec, pour certains, des problèmes de salinité) et souvent trop hétérogènes. Les arbres ont eu des difficultés à développer leurs systèmes racinaires, et l'eau apportée ne s'infiltrait que faiblement. Il est certain que des sols sableux auraient bien mieux valorisé l'irrigation localisée.

Ils sont ensuite d'ordre technique. Les procédés mis en oeuvre ont toujours nécessité des adaptations imprévues, tant au niveau des stations de pompage (fort marnage du fleuve) que du fonctionnement des canaux de distribution bétonnés dans le cas de l'irrigation gravitaire.

Ils sont enfin et surtout d'ordre économique. La création de périmètres est revenue, en 1980-81, à 1,5 million FCFA/ha pour le procédé gravitaire, et à 2,2 millions F CFA/ha pour le procédé localisé. Le fonctionnement annuel revenait à la même époque à près de 200 000 F CFA/ha. Ces coûts de production sont sans commune mesure avec la récolte et la vente des premiers produits.

En conclusion, quelle que soit la validité des procédés utilisés, la création de périmètres spécifiquement forestiers au Niger s'est révélée très vite compromise par leur trop faible rentabilité.

Perspectives d'avenir

Intégration de l'arbre dans les aménagements hydro-agricoles

En même temps que la recherche étudiait les conditions favorables à l'irrigation contrôlée des arbres forestiers, elle testait, dans d'autres conditions, l'intégration de plantations d'arbres au sein des aménagements hydro-agricoles, rizicoles ou autres, soit sous forme de brise-vent, soit sous forme de petits boisements au sein de zones délaissées. Ces implantations correspondaient à la fois à une nécessité agroclimatique (rôle des brise-vent et rideaux abris pour l'amélioration du rendement de cultures de contre-saison) et à une opportunité stationnelle (valorisation des eaux de drainage ou de percolation le long des canaux, valorisation de zones trop difficiles à mettre en valeur pour l'agriculture comme lentilles sableuses et zones enrochées). L'eau est alors considérée comme gratuite, car provenant de la nappe existante ou de pertes en eau.

La production de bois peut alors être considérée comme une culture dérobée, un sous-produit ou une production marginale de l'aménagement. De plus, elle ne nécessite théoriquement aucun investissement supplémentaire, aucune maintenance spécifique et peut être assurée par les paysans eux-mêmes, à leur profit.

Les possibilités en ce domaine sont énormes au Niger, puisqu'on estimait, dans les études liées au barrage de Kandadji, que 5% de la surface des aménagements à créer devait être affectée aux brise-vent et que cinq autres pour cent ne pouvant être valorisés par l'agriculture, pouvaient être plantés.

L'intégration de l'arbre dans les aménagements hydro-agricoles paraît donc bien aujourd'hui la meilleure solution pour une production massive de bois, au meilleur coût, dans les pays sahéliens.

Encore quelques obstacles

Il existe néanmoins quelques obstacles à vaincre. Celui des "mange-mil" ou "mange-riz" en est un de taille, celui de la compétition de l'arbre avec

les cultures en est un autre (ombre, abaissement de la température, dégâts des racines aux réseaux,...). Il est certain que les nouveaux aménagements devront être conçus pour permettre cette intégration, ce qui n'était pas le cas jusqu'à présent, et faciliter la levée de ces contraintes. Pour ce faire, un effort intense de sensibilisation et de conviction à l'endroit des responsables agricoles doit être fait. C'est une option stratégique que les forestiers du Sahel doivent défendre au niveau des décideurs politiques de leurs pays.

ALIO HAMIDIL

Direction de l'Environnement
BP 578 Niamey
NIGER

Pour en savoir plus

- ARMITAGE F.B., 1986. *Foresterie irriguée en pays arides et semi-arides : une synthèse*. CRDI - Ottawa.

- CASTELLANET C., 1992. *L'irrigation villageoise. Gérer les petits périmètres irrigués au Sahel*. GRE (Min. Coopération ACCT-CTA) Paris.

- DELWAULLE J.C., 1979. *Plantations forestières en Afrique tropicale sèche*. Bois et Forêts des Tropiques n°186.

- Direction de l'Environnement, 1988. *Les plantations industrielles*

de Namarde Goungou - Situation actuelle et perspectives d'aménagement. Niamey.

- FAO, 1983. *L'irrigation localisée*. Bulletin FAO ; Irrigation et drainage n° 36.

- HAMEL O., 1985. *Contribution à la réunion organisée par le CRDI sur les plantations forestières irriguées en zone aride*. Oxford- CTFT.

- HARMAND J.M., 1988. *L'opération "Pôles verts"*. Bois et Forêts des Tropiques n°218.

- ZABEL G., 1983. *Expérimentation de techniques d'irrigation en zone sahélienne* GTZ - Eschborn.

Plantations irriguées sur dunes en Mauritanie

Dans le cadre d'un projet de coopération entre la Mauritanie, le PNUD et la FAO, a été mis au point une technique originale d'irrigation permettant le reboisement de dunes vives.

Dans presque tous les sables dunaires de Mauritanie, exceptés ceux portant déjà une végétation, il existe une humidité naturelle à faible profondeur variant de 30 cm à 1,5 m selon les zones. Les sols dunaires dénudés ont une forte capacité d'infiltration, ont un fort albédo et conduisent mal la chaleur. Il n'y a quasiment pas de remontée capillaire et la couche superficielle seule joue un rôle de mulch limitant encore plus l'évaporation.

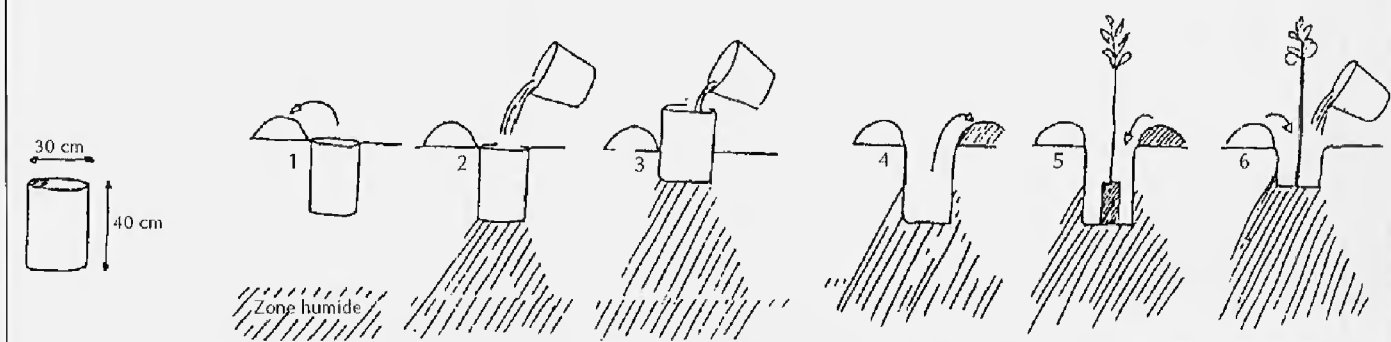
Cette humidité résiduelle constitue un atout de taille pour le reboisement. La plantation sans arrosage n'est possible que lorsque les pluies ont été suffisantes (150 mm au moins), pour que l'humidification superficielle du sol atteigne la couche profonde humide. La reprise des plants est facilitée par une plantation en profondeur rapprochant les racines de cette couche humide.

Lorsque la saison des pluies n'a pas été favorable ou que l'on veut étaler les travaux de plantation sur une plus longue période, il est nécessaire d'avoir recours à l'irrigation. La technique utilisée est celle du cylindre.

Elle consiste à localiser l'apport d'eau (20 à 100 l selon la profondeur à atteindre) au niveau du plant en la forçant à s'infiltrer verticalement au moyen d'un cylindre métallique creux enfoncé dans le sol. Il s'établit alors une jonction entre le fond du trou (40 cm) et le front d'humidité naturelle de la dune. Le développement racinaire du plant se fait au début dans le bulbe d'infiltration et très vite les racines atteignent la zone humide résiduelle assurant définitivement la reprise et la croissance de l'arbre. Une espèce comme *Prosopis juliflora* valorise particulièrement bien cette technique et les exemples sont probants, tout au long de la Route de l'Unité, à Boutilimit ou à Magta Ladja.

D'après MENSEN A.M., 1986. Premier bilan des essais établis au Centre de Boutilimit en 1984 et 1985 - DNP-MDR/PNUD-FAO.

KHATTELI H., 1994. Une technique d'irrigation en profondeur pour le reboisement sur sols dunaires. Sécheresse n° 1, vol. 5.



LA FORÊT : UN NOUVEL OUTIL DE GESTION DE L'EAU

24

Si les réserves en eau mondiales sont théoriquement considérables, les quantités réellement utilisables diminuent sans cesse à cause de la dégradation chimique et sanitaire des eaux mobilisables. Pour répondre à une demande croissante, à l'inadéquation spatiale et temporelle de cette demande et de l'offre, différentes solutions sont mises en oeuvre : stockage pour différer l'utilisation, transport pour mieux répondre à une demande délocalisée, traitements des effluents avant rejet pour protéger les milieux, réutilisation des eaux.

Cette dernière technique avait connu un très grand essor à la fin du siècle dernier pour traiter, par les champs d'épandage, les eaux usées des grandes villes de l'Europe du nord (Paris, Londres, Berlin,...). Les travaux de Pasteur concernant les risques sanitaires ont freiné l'extension de cette technique pour la remplacer par celle des stations d'épuration.

Par contre, aujourd'hui, les progrès de la médecine, la meilleure connaissance des phénomènes chimiques, physiques, bactériologiques, l'apparition de normes et moyens de contrôle, autorisent de nouvelles démarches en terme de traitement des eaux et de conditions de rejet dans le milieu naturel. La réutilisation des eaux à des fins de production de matière végétale en général est une solution à mettre en parallèle avec une filière classique dans tout nouveau projet de traitement.

Dans ce cadre, la production forestière présente de nombreux intérêts, car les risques sanitaires y sont réduits, une meilleure adéquation entre l'offre et la demande est possible, enfin toutes les techniques d'apport d'eau sont envisageables.



Irrigation de Pin d'Alep à Saint Mathieu de Trévières (Hérault) à partir d'eaux usées (système Bas-Rhone-Languedoc). Photo : Verseau.

Pourquoi réutilise-t-on les eaux usées ?

Même si la réutilisation des eaux à des fins de production agricole est une réalité (6 400 ha aménagés et 22 000 ha prévus en Tunisie), les réalisations et projets répondent souvent à d'autres préoccupations : la protection de l'environnement et l'augmentation des ressources en eau par réduction des prélèvements sur des eaux de bonne qualité.

Il en résulte que ces techniques développées en premier lieu dans des situations de déficit hydrique important, trouvent aujourd'hui des applications dans des contextes agro-climatiques extrêmement variés.

Enfin, si l'aménagement retenu prend en compte l'adéquation entre la ressource et la consommation ainsi que la maîtrise des risques sanitaires, cette technique peut devenir une technique à part entière permettant un traitement tertiaire des effluents.

C'est cet aspect qui a été retenu dans les réalisations forestières françaises afin de réaliser une protection efficace des milieux récepteurs. En France, Cogolin dans le Var (forêt indigène) et Saint-Mathieu-de-Trévières dans l'Hérault (plantation de pin d'Alep) utilisent des eaux issues de station d'épuration. À Oppède dans le Vaucluse (peupleraie), ce sont les effluents domestiques qui sont épanchés. Les cas de Tartas et de Mimizan dans les Landes sont particuliers, car ils sont consacrés au traitement des effluents de papeterie par irrigation de pin maritime. Dans ce contexte, les risques sanitaires n'existent pas.

Ailleurs dans le monde, on cite 5 000 ha de plantations forestières aux États-Unis où sont épanchés des effluents liquides et des boues ayant reçu au moins un traitement primaire ; 1 000 ha en Australie irrigués avec des effluents urbains et industriels ; et 600 ha en

Nouvelle-Zélande où les essences utilisées sont le pin radiata et l'eucalyptus.

Quels sont les atouts de l'irrigation forestière ?

En irriguant des forêts, il est possible d'obtenir des réponses à deux contraintes majeures qui sont l'adéquation entre la ressource disponible et la consommation en eau d'une part, et la limitation des risques sanitaires d'autre part.

Pour l'adéquation ressource-consommation, on peut tout d'abord estimer les volumes disponibles. Dans la réalité, ils sont très variables allant de 70 l/ha/j (par exemple en Tunisie) à 250 et plus dans certains pays développés (Europe, Japon). Les consommations en milieu végétal étant de 5 à 10 mm/j, soit 50 à 100 m³/ha/j, les projets actuels sont limités à des villes petites ou moyennes qui fournissent entre quelques milliers ou dizaines de milliers de m³ par jour d'effluent donnant des surfaces forestières irriguées inférieures à 300 ha.

Mais ces volumes disponibles le sont à débit constant toute l'année sauf dans les zones touristiques, où il peut augmenter considérablement en période estivale, alors que la consommation agricole est variable, pratiquement nulle en hiver pour être maximale en juillet-août en pays tempéré.

Deux solutions sont alors possibles :

- soit un stockage dont le volume sera variable, mais qui se fera toujours sur un effluent qui aura déjà été traité (traitement physique et chimique),

- soit une utilisation forestière sur des sols présentant des capacités d'infiltration importantes, où les risques d'engorgement sont faibles, et avec des espèces supportant un certain excès d'eau en période hivernale. Pour les périodes où les apports dépassent la demande climatique, le système va fonctionner comme un milieu d'épandage en régime d'infiltration-percolation, c'est-à-dire avec un fractionnement des doses évitant la saturation du sol (en milieu sableux, il est possible de faire percoler jusqu'à 5 000 m³/ha/j).

Pour les risques sanitaires, la réutilisation des eaux usées (REU) fait courir

des risques directs aux personnels en contact avec l'eau, mais aussi des risques indirects aux personnes consommant les produits cultivés et irrigués avec ces eaux. En production forestière, le nombre de personnes intervenant dans la production est limité de même que le nombre de leurs interventions. Ces dernières peuvent se faire de plus hors période d'apport d'eau. Enfin, les produits cultivés ne sont pas consommés et les risques de contamination directe n'existent pas.

Quelles sont les limites de ce type de sylviculture ?

Sur l'aspect technique, la qualité des eaux rejetées est généralement bien connue. Globalement, il est reconnu que les critères d'évaluation des aptitudes à l'irrigation d'une eau usée, sont identiques à ceux existant pour une eau fraîche, même si certains effets liés à des apports prolongés sur des sols ne sont pas encore bien maîtrisés. Ces phénomènes seraient liés à la charge des eaux en matières organiques. À Marrakech, où la pratique de l'irrigation avec des eaux brutes est très ancienne, les phénomènes de toxicité au sel n'apparaissent pas, bien que les eaux soient classées "impropres à l'irrigation" dans le diagramme de Riverside pris comme référence internationale en matière d'irrigation avec des eaux saumâtres.

Le potentiel fertilisant de ces eaux ne doit pas être négligé. L'expérience néo-zélandaise de Rotorua sur *Pinus radiata* donne des apports de fertilisants de 103 kg/ha/an de phosphore et de 304 kg/ha/an d'azote avec des doses d'irrigation de 80 mm par semaine.

À côté de ces aspects positifs, il n'en reste pas moins que les risques vis-à-vis du sodium et des ions alcalins sont préoccupants pour deux raisons : tout d'abord parce que le sodium n'est pas affecté par l'épuration classique et qu'ensuite les dégâts associés à la salinité sur les sols sont graves et bien souvent insidieux. Mettant la végétation en situation de stress hydrique, la salinité réduit fortement la conductance stomatique, le potentiel hydrique total et osmotique de l'arbre, et donc sa croissance en hauteur et en diamètre. Toutes les eaux trop chargées en sel (>2g/l) ne devront pas être utilisées.

Vis-à-vis de la végétation, les différents auteurs citent tous un effet bénéfique sensible sur la croissance (+ 24% en diamètre par rapport aux témoins non irrigués sur pins de sept ans à Rotorua, +16 à +55% en diamètre sur pin maritime dans les Landes pour l'année 1993 où le déficit estival (ETP-P) a été de 116 mm). Par contre, la seule référence liée à la qualité du bois donnerait une baisse de 10% pour la densité après cinq ans d'irrigation sur *Pinus radiata*. Des programmes de recherche sont en cours pour évaluer l'effet à long terme (> 10 ans).

Quel avenir pour la réutilisation de l'eau ?

À ce jour, bien que des projets pilotes nombreux existent en matière de REU, le développement de cette technique ne pourra se faire qu'avec un encadrement législatif précis.

Aujourd'hui, à côté de recommandations concernant essentiellement l'aspect sanitaire, se développent des notions de REU-ressource en eau et REU-protection de l'environnement, et deux textes en France font actuellement référence :

- la directive de l'Organisation Mondiale de la Santé (1989)

- les recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (1991).

Mais ces textes ne sont pas suffisants pour la REU, car ils s'appliquent en sortie de station d'épuration et considèrent donc la REU comme une nouvelle ressource en eau. Dans ce cas, le forestier ne sera qu'un consommateur de cette eau et devra donc supporter seul l'investissement lié à son projet de production irriguée. D'autre part, la directive CEE du 21 mai 1991 concernant seulement le traitement des eaux résiduaires urbaines, impose un fort abattement des teneurs en N, P, K, et donc un abaissement important du pouvoir fertilisant des eaux. Dans ce cas, la rentabilité de tout projet est aléatoire.

L'autre façon de voir les choses consiste à intégrer la REU dans le processus épuratoire. Cette technique devient un véritable traitement tertiaire

re et le projet peut être subventionné comme une station d'épuration. La difficulté vient alors du contrôle en sortie de système et seule une étude préalable sérieuse peut évaluer les risques de pollution en particulier des nappes profondes. Il n'en reste pas moins que c'est la seule solution pour développer cette technique qui peut se révéler très performante vis-à-vis de l'épuration et pour laquelle les risques bactériologiques sont limités au maximum.

Les opérateurs peuvent être des producteurs privés en contrat avec la collectivité ou l'industriel ayant un besoin d'épuration. La collectivité, seule, peut mettre en oeuvre cette technique en particulier dans le cadre des ceintures vertes des villes.

Conclusion

Le bilan en France et ailleurs montre que techniquement la REU est réalisable même si le nombre de réalisations ainsi que des données précises est limité. Néanmoins, on peut remarquer, d'après les nombreux projets, l'apparition d'une prise de conscience sur l'intérêt que représente cette technique.

Si la REU semble pouvoir se développer puisqu'elle est maintenant soumise à un cadre législatif minimisant les risques sanitaires, il reste cependant des points à éclaircir. En effet, le montage institutionnel doit prévoir la notion de responsabilité du projet et celle du coût de l'eau distribuée.

Les questions suivantes sont encore sans réponse :

- Qui va payer l'eau des stations d'épuration ? Sera-t-elle gratuite ? L'agriculteur ou le forestier jouant le rôle d'épurateur se verra-t-il rémunéré pour cette nouvelle fonction ?

- Quel sera le degré d'engagement du fournisseur d'eau et de l'utilisateur en cas d'accident ?

Pour en savoir plus

- *Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation*, 1993. Séminaire École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, DAA Génie Agronomique, 125 p.

- SEDOU NYANG, 1996. *Utilisation des eaux usées domestiques en maraîchage périurbain à Dakar (Sénégal)*. Sécheresse, 1996; 7; 217-23.

- CAMUS J.M., CHOSSAT J.C., LOUSTAU D., 1996. *La valorisation sylvicole*

des eaux usées et des boues d'épuration : les expériences néo-zélandaises et françaises. Revue Forestière, Fr, XLVIII - 5.

- AFLI ABDELJELIL, 1996. *Contraintes et perspectives de développement de la réutilisation des eaux usées traitées : cas de la Tunisie et du Maroc*. Mémoire de 3ème cycle, IAV Hassan II Maroc.

- BRAATS S., KANDIAH A., 1996. *Recyclage des eaux usées par l'irrigation des forêts et des arbres*; UNASYLVA, 185 - vol.47.

Irrigation de Pin d'Alep à Saint Mathieu de Trévières (Hérault) à partir d'eaux usées (système Bas-Rhone-Languedoc). Photo : Verseau.



- Quelle solution de remplacement sera envisagée si la collectivité n'est pas en mesure de fournir le volume prévu par contrat avec l'irrigant ?

Une enquête conduite en France ainsi que les réalisations pilotes de par le monde, devraient servir de base de références pour la mise en place de textes réglementaires, obligatoires pour l'extension de cette technique prometteuse.

Jean-Paul LUC

ENSA M.

UFR : Génie des équipements
& génie rural
2, place Viala

34060 Montpellier cedex 1
FRANCE

LE BARRAGE DE PETIT SAUT

"Nous ne voulons pas de rivières de légende".

Guyane Française

Jean Roland Verderosa
(auteur compositeur guyanais)

Vue aérienne de la retenue : rivière, arbres morts et arbres sains.
Photo : L. P. PLANQUETTE.

INTRODUCTION

Dont acte : la Guyane a choisi aujourd'hui la voie de l'hydroélectricité pour répondre à la demande locale en énergie. Inutile de revenir sur le bien-fondé de ce choix. Analysons plutôt, un an après sa mise en eau, les relations, parfois tumultueuses, entre le barrage de Petit-Saut (BPS) et l'environnement. Une description rapide permettra de planter le décor : contexte socio-économique, caractéristiques techniques du barrage, écologie du milieu naturel. Développement et écosystème naturel ne forment jamais, c'est normal, un couple parfait. Nous évoquerons donc dans un deuxième temps les problèmes écologiques (en particulier forestiers) rencontrés successivement de la réalisation de l'ouvrage à sa mise en eau. Enfin, les solutions adoptées par Electricité de France (EDF) seront présentées et évaluées en terme d'efficacité technique et médiatique.

CONTEXTE

Pourquoi un barrage en Guyane?

La consommation en énergie électrique de ce lointain département d'outre mer a augmenté de 12% par an depuis une décennie (contre 2% en France métropolitaine). C'est à la fois le boom de la consommation domestique (développement de la distribution pour les 140 000 habitants répartis sur une superficie égale à celle de la Belgique) et la croissance de la demande industrielle (liée au succès de l'activité spatiale représentant à elle seule 1/5 de la demande) qui en sont la cause.

Jusqu'alors approvisionnée par deux centrales thermiques au fuel (le combustible bois ayant vite été abandonné), la Guyane voit donc s'élever le coût des importations de pétrole. La réponse à cette menace sur l'indépendance énergétique du département : c'est le barrage de Petit Saut.

Guyane Française

Département français
d'Amérique du Sud,
situé au niveau de
l'équateur.

Superficie : 8 340 000
ha recouverts à 90% de
forêt.

Préfecture : Cayenne.
140 000 habitants en 1993.

Source : *Arborescence* n° 38
1992.



Petit Saut

À 50 km à l'ouest de Kourou, le fleuve Sinnamary coule entre les deux murs verts de la forêt équatoriale. Quelques "sauts" (zones rocheuses entraînant la formation de rapides, voire de petites chutes) donnent à ce paysage une allure de terre d'aventures. C'est aussi un univers fascinant pour l'écologiste. Sur un relief en "demi-oranges renversées" s'étale l'un des écosystèmes les plus variés du globe : la forêt dense humide sempervirente d'Amazonie. À tout seigneur tout honneur, 1 200 espèces d'arbres (ligneux atteignant plus de 10 cm de dbh) ont été recensées en Guyane. À cette richesse brute s'ajoute une grande diversité puisque l'on compte souvent plus de 175 espèces par hectare (pour 600 tiges). Cette forêt abrite environ 300 espèces d'oiseaux, 150 espèces de mammifères (dont 80 espèces de chauve-souris) et le fleuve héberge 130 espèces de poissons. Quant aux insectes, c'est en "nombre d'espèces nouvelles pour la science" que l'on doit parler après chaque inventaire détaillé d'une zone. Écosystème diversifié s'il en est, cette forêt reste un "colosse aux pieds d'argile" et les exemples de sa destruction à grande échelle ne manquent pas dans les pays voisins d'Amazonie.

... et grand barrage

C'est donc au coeur de cet écosystème (au lieu-dit Petit Saut sur le Sinnamary), qu'EDF a choisi, pour des raisons techniques et économiques, de construire le barrage. Il s'agit d'un barrage de type poids en béton compacté au rouleau de 750 mètres de long et 47 mètres de hauteur maximale. La retenue, de forme dendritique, a une superficie de 310 km² (soit 0,3% de la Guyane) pour un volume de 3,5 milliards de m³ (dont un milliard utile représentant une zone de marnage de 3,5 m de hauteur). Coût total de l'investissement : 2 700 millions de francs en cinq ans (1989-1994). Le "plus grand barrage d'Europe" reste toutefois modeste par rapport à certains de ses voisins tel que celui de Tucuruí au Brésil avec un plan d'eau de 2 430 km². Remarquons que la Guyane présente des caractéristiques particulières par rapport à d'autres pays ayant choisi la production hydroélectrique (Surinam, Nord du Brésil, Côte d'Ivoire en particulier) : population très faible et quasiment absente de la zone forestière, niveau de vie ajusté sur celui de la métropole donc très élevé pour une région du Sud. En Côte d'Ivoire par exemple, 68% de la production provient d'aménagements hydrauliques. Certains barrages y ont une superficie comparable à celle de Petit-Saut mais,

Vue générale du barrage. Photo : V. HOREAU, S. RICHARD.



28

en général, plusieurs retenues se font suite sur un même fleuve.

Le remplissage a duré deux saisons des pluies compte tenu d'une saison des pluies 1994 déficitaire et peut-être aussi à cause des imprécisions sur les courbes de niveau difficiles à tracer en milieu forestier. La production d'électricité a pourtant débuté en 1994. Ce barrage a bien sûr des conséquences importantes sur l'environnement.

TRANSFORMATION RADICALE DE L'ENVIRONNEMENT

L'étude d'impact, rendue obligatoire par la législation en vigueur, a été soumise à enquête publique en 1987. Elle a permis la signature du Décret de Concession et de la Déclaration d'Utilité Publique en mai 1989. Cette étude ne pouvait faire qu'un constat : le barrage du Petit Saut transformera l'écosystème fluvial et forestier ancien en un écosystème lacustre sur la totalité de la retenue et perturbera durablement le cours du Sinnamary en aval.

Un premier choix difficile : la non-déforestation

Chacun y est allé de son analyse (étude d'impact, expertise et contre-expertise indépendantes, comparaison avec les expériences voisines) pour arriver à la conclusion : il n'y aura pas de déforestation totale de la retenue avant la mise en eau. Les critères de choix étaient nombreux et contradictoires, insuffisamment étayés par des données fiables. Ce sont des considérations économiques et écologiques qui ont préva-

lu. Imaginez la coupe totale de 310 km² de forêt dense. Sur une telle surface, ce sont d'abord plus d'un million de m³ de bois d'oeuvre valorisable qu'il aurait fallu extraire à un coût élevé sur un relief chahuté et coupé de nombreux cours d'eau. Ce volume, mis sur le marché, aurait représenté dix fois la capacité annuelle de valorisation par les entreprises locales.

Une réorganisation complète de la filière bois était donc un préalable indispensable à cette action (l'état de la filière était tel que même les quelques arbres abattus pour la mise en place des infrastructures n'ont pas trouvé preneur). Ce travail était peut-être envisageable mais dans des délais nécessitant de reculer les travaux du barrage de plusieurs années (délai incompatible avec l'avancement du projet). Restait ensuite à réaliser l'abattage du reste du volume (soit 270 m³/ha), puis son élimination (par brûlage sur place ou évacuation). Ce travail d'Hercule (mille ouvriers ou cent engins lourds pendant deux ans) aurait eu en outre un coût écologique certain :

- émission de gaz carbonique,
- mise à nu des terrains pouvant conduire à de très forts transports solides,
- défrichement de zones supplémentaires pour la réalisation des pistes d'accès au chantier,
- repousse très rapide d'essences pionnières qu'il aurait fallu détruire à leur tour...

Coût de l'ensemble des travaux : financièrement égal à celui du barrage et écologiquement égal ou supérieur au bénéfice apporté. Le seul impact positif aurait concerné l'aspect paysager (important en cas d'aménagement touristique ultérieur du site).

La véritable question n'était pas de couper ou ne pas couper la forêt. Il fallait choisir entre le maintien de la forêt ou la coupe, le décapage de la litière et l'évacuation de toute matière vivante! C'était le seul moyen, impossible à réaliser, d'obtenir un impact réellement

positif sur la qualité de l'eau de la retenue (voir ci-dessous). Une déforestation partielle aurait peut-être permis d'atteindre partiellement cet objectif (mais cette possibilité n'a pas été étudiée au moment du choix d'aménagement).

Conséquences sur la qualité de l'eau : l'amont et l'aval du barrage

L'écosystème lacustre stagnant en amont du barrage sera, pour de nombreuses années, de mauvaise qualité. On observe, dans les eaux profondes (hypolimnion) éloignées du soleil et de l'atmosphère, une oxydation de la matière organique issue des débris végétaux et animaux et donc une désoxygénation de l'eau et un enrichissement en éléments nutritifs. Les couches superficielles (épilimnion) sont par contre riches en oxygène et pauvres en éléments nutritifs. Pour qu'un écosystème lacustre fonctionne il doit y avoir déstratification (mélange des couches) par circulation de l'eau. Or le non-déforestage entraînera sans doute, d'une part une consommation plus durable d'oxygène et d'autre part un ralentissement de la circulation de l'eau (par limitation de l'effet du vent et de la circulation horizontale et verticale des eaux).

Cette désoxygénation entraîne de plus la production de méthane et d'hydrogène sulfuré par dégradation anaérobie de la biomasse. Par contre, elle ne semble pas favoriser la transformation du mercure minéral (utilisé depuis plusieurs décennies par les orpailleurs dans le bassin du Sinnamary pour amalgamer les paillettes d'or) en méthylmercure toxique plus soluble et donc concentré dans la chaîne alimentaire jusqu'aux poissons carnassiers et à l'homme.

À l'aval du barrage, le type d'écosystème (fluvial) n'est pas modifié ; c'est sa qualité qui est altérée. La saisonnalité des débits (très importante pour les cycles vitaux en milieu tropical étant donné l'absence de saisonnalité thermique) est d'abord perturbée. Ensuite, c'est la qualité des eaux relâchées (désoxygénées) qui est réduite, renforçant l'effet dégradant sur les peuplements animaux (reproduction des poissons en particulier).

Un singe attèle sur un arbre mort. Photo : L. P. PLANQUETTE.



29

Menaces sur la flore et la faune

Ces perturbations des habitats ont des conséquences sur les peuplements animaux et végétaux. On note dans un premier temps la mort progressive des arbres immergés et la disparition à plus ou moins long terme des espèces végétales. En contre-partie une nouvelle végétation d'herbacées flottantes pourrait se développer et avoir deux conséquences opposées : renforcement de la désoxygénation et consommation de sels nutritifs. Ensuite, la plupart des animaux étaient menacés de mort sauf ceux qui ont réussi à fuir (sur terre ou à la nage) la montée des eaux (dont la vitesse variait entre 2 et 30 cm par jour en phase de remplissage). L'évolution des peuplements de poissons est caractérisée par un appauvrissement de la diversité et parfois en cas de surdensité, par une diminution de la taille moyenne des individus (nanisme). Enfin de nombreuses îles se sont formées, dont l'isolement (fragmentation) provoque une modification des peuplements aussi bien animaux (surconcentration) que végétaux (modification des possibilités de dispersion et régénération). Les connaissances permettant de quantifier *a priori* sont toutefois très insuffisantes aujourd'hui.

Conclusion

Les perturbations provoquées en amont du barrage sont irréversibles à l'échelle humaine. Il ne peut donc pas être question de mesures correctrices mais seulement de mesures d'accompagnement. À l'aval, une gestion adaptée du barrage doit permettre de préserver un écosystème fluvial viable. La réponse d'EDF aux nuisances présentées plus haut est donc à deux niveaux.

MESURES D'ACCOMPAGNEMENT ET SUIVI SCIENTIFIQUE

Pour ce qui est des actions d'accompagnement, on présentera successivement les travaux d'amélioration de la qualité des eaux en aval, puis les plans de sauvetage de la flore et de la faune. En ce qui concerne les actions engagées à plus long terme, on insistera sur le démarrage d'un programme de recherche sur l'environnement.

Travaux d'accompagnement pour la gestion de l'eau

L'importance des phénomènes de désoxygénation dans la retenue (prévue par EDF) a nécessité la mise en place de plusieurs ouvrages annexes pour assurer une qualité satisfaisante de l'eau en aval (pour le maintien d'une vie aquatique essentiellement liée au taux d'oxygène dissous). Tout d'abord, avant la mise en eau, une prédigue avait été construite (également pour des raisons de conduite technique du chantier) à 70 m en amont du barrage. Elle permet de turbiner préférentiellement des eaux de surface (qui sont mieux oxygénées mais

aussi moins acides et donc moins corrosives pour le matériel de turbinage). Au fur et à mesure du remplissage et des essais de turbinage, il s'est avéré nécessaire d'installer des diffuseurs d'air dans le chenal de fuite (compresseurs injectant de l'oxygène dans l'eau) puis d'y construire un seuil en "dent de scie". Sa forme, testée en laboratoire, entraîne un brassage supplémentaire et permet une surface d'échange air-eau maximale (départ des gaz tels que le méthane et entrée d'oxygène). Il a pour inconvénient de diminuer temporairement le rendement des turbines. Avec tout cet arsenal de techniques d'appoint, on obtenait (avec le fonctionnement d'une turbine) une eau en aval de qualité acceptable pour la vie aquatique (teneur en O₂ égale au minimum à 4 mg/l). Le maintien de la faune aquatique présente bien sûr une certaine importance pour la vie locale (pêche fluviale traditionnelle) mais surtout cette eau devrait être destinée à la consommation domestique. En fait, pour ne pas prendre de risques majeurs, EDF avait au préalable décidé de transférer la station de pompage alimentant la commune de Sinnamary en eau potable sur une autre rivière.

Sauvetages médiatiques

En ce qui concerne la flore, quelques individus de la seule espèce apparemment endémique de la zone (une petite *Turneriaceae* liée au micro-système des sauts) ont été déplacés dans le même bassin versant en amont

Mesure chimie des eaux.
Photo : V. HOREAU.



de la retenue. Quant aux orchidées (plantes parmi les plus symboliques), elles font l'objet d'une récolte en vue de la création d'un conservatoire *ex-situ*. Il est envisagé également l'exploitation des ressources ligneuses par des techniques sous-marines inspirées de l'expérience brésilienne. Une préétude conduite par l'ONF montre que ces techniques sont envisageables mais nécessitent une formation et un équipement particuliers. Les volumes extraits seront de toute façon faibles.

Pour la faune, de gros moyens ont été mis en œuvre. Face à l'opinion nationale et internationale, EDF ne pouvait faire autrement qu'engager un "plan de sauvetage" de la faune menacée par la montée des eaux. Qualifiée "d'Arche de Noé" par certains journalistes et bénéficiant d'une couverture médiatique exemplaire, cette action coûteuse a les résultats que l'on pouvait attendre : à ce jour environ 5 000 animaux sauvés des eaux (et relâchés dans une zone voisine *a priori* sous peuplée). Parmi ceux-ci environ 60 individus appartenant à des espèces intégralement protégées de la chasse au plan départemental. Cette action a peut-être permis de sauver le peu d'animaux qui devaient être sauvés. Il est difficile toutefois de dire ce qu'est devenu le reste de la vie animale. L'estimation de la population initiale est incertaine (peut-être 900 000 mammifères sur la superficie totale) et les chances de survie sont très variables suivant les espèces. Certaines, telles que les félins, peuvent probablement s'échapper mais d'autres (telles que les deux espèces de paresseux) auront disparu en nombre. Plus positive est la réglementation interdisant la chasse sur la retenue et tentant d'en assurer, pour un temps, le contrôle par l'envoi de trois gardes nationaux de la chasse et de la faune sauvage. C'est une première dans le département. Son effet sur la faune de cette zone sera important et cela pourra surtout être l'amorce d'une véritable lutte contre la chasse commerciale dans la région. Ce plan de sauvetage apporte également sa pierre aux actions de recherches initiées par EDF.

Des actions de recherche à moyen terme

EDF s'est engagé dans la mise en place d'un programme de recherche tous azimuts pour quantifier l'effet du barrage sur les différentes composantes

Arbres et eau... barrage du Petit Saut. Photo : L. P. PLANQUETTE.



des écosystèmes créés ou perturbés. Ce programme est piloté par un Comité Scientifique créé en 1991 et s'appuie à la fois sur des Instituts de recherche travaillant en Guyane (ORSTOM, Muséum National d'Histoire Naturelle, Institut Pasteur, INRA...) mais aussi sur un laboratoire d'environnement (axé sur la chimie des eaux et la micro-faune aquatique) construit par EDF sur le site. On ne détaillera pas ici toutes les études en cours, mais l'on peut citer :

- le suivi des principales composantes de la chimie de l'eau et la modélisation des mécanismes d'évolution en jeu,

- le suivi hydrobiologique avec en particulier le devenir des peuplements de poissons,

- le plan de "sauvegarde" de la faune qui consiste à appréhender le comportement des animaux et l'évolution des populations à la suite de la fragmentation du massif forestier,

- la constitution, en parallèle au plan de sauvetage, d'une banque de données animales comprenant un inventaire des espèces et de leurs caractéristiques et des prélèvements systématiques de leurs parasites externes et internes (prélèvements sanguins en particulier) qui pourrait se révéler avoir des retombées en matière de santé humaine,

- l'étude des différentes zones de végétation en cours de formation sur la

retenue : nouvelle forêt ripicole, forêt temporairement inondée de la zone de marnage et forêt en voie de disparition de la zone inondée.

Concernant le domaine végétal, il semble que les deux premiers systèmes pourront se former à partir de la flore locale. L'évolution de la végétation de la zone de marnage sera particulièrement importante à suivre puisqu'elle pourrait provoquer un apport continu (et indésirable) de matière organique dans la retenue. La forêt inondée, quant à elle, verra disparaître les arbres progressivement depuis les feuilles aux troncs en passant par les rameaux et branches sur une période qui pourrait durer plus de cinquante ans.

Conclusion

Le coût total de ces actions liées à l'environnement est de cent millions de francs environ. Les actions d'urgence sont très médiatiques (pour la faune) et rendues nécessaires par la pression des opinions publiques locale et nationale. Le programme de recherche quant à lui apportera sans aucun doute des éléments de connaissance très importants dans de nombreux domaines scientifiques. Reste toutefois à pérenniser dans le long terme ces travaux par des financements indépendants d'EDF permettant de faire du Sinnamary (comme le souhaitent les élus locaux et les ministères concernés) un "pôle d'excellence" sur l'environnement.

CONCLUSIONS

Essayons pour conclure de tirer quelques enseignements de cet aménagement.

Sur le plan législatif, il paraît souhaitable que les études d'impact, outil indispensable pour promouvoir un développement "durable", précèdent largement toute prise de décision et soient confiées à des organismes totalement indépendants du futur maître d'ouvrage. De toute façon, il faut bien être conscient que le bilan écologique ne peut être connu réellement que longtemps après la fin des travaux, une fois les nouveaux écosystèmes en place.

L'action d'EDF en matière d'environnement, bien que souvent pilotée par des pressions extérieures, est indéniable et apportera des informations très utiles pour mieux comprendre les phénomènes en jeu.

Plus inquiétante sera la situation énergétique de la Guyane dans les dix à quinze ans à venir. À cette date, les capacités de production du barrage seront à leur tour dépassées par la demande. Nouveau barrage, centrale thermique ou énergie renouvelable, c'est pour la plupart des Guyanais aujourd'hui une grande inconnue. Gageons que l'expérience de Petit Saut servira de leçon. Si elle n'existe déjà, une analyse globale, en terme d'environnement et d'économie, de toutes les alternatives possibles (utilisées séparément ou en synergie) se doit d'être réalisée et présentée au public avant toute nouvelle décision.

Vincent FAVRICHON
CIRAD-Forêt
BP 701
97 310 Kourou
GUYANE

Je remercie vivement plusieurs lecteurs anonymes appartenant ou non à EDF-Guyane ainsi que Paul Planquette, Sandrine Richard et Véronique Horeau pour les photographies.

Bibliographie

ALEXANDRE, D.Y., 1984. Le déboisement de la retenue de Petit-Saut : projet d'étude de faisabilité. Rapport effectué dans le cadre de l'étude d'impact du barrage de Petit-Saut. ORSTOM-EDF Guyane, p:1-8.

CERDAN, P., 1991. État d'avancement des travaux et résultats sur l'environnement de Petit-Saut. Rapport final, Université de Provence - EDF, Marseille, Cayenne, 106 p.

EDF, 1985. Chute de Petit-Saut, aménagement de Sinnamary, demande de concession et demande de déclaration d'utilité publique. Dossier d'enquête EDF-Guyane, 503 p.

EDF, 1993. Le barrage de Petit-Saut et l'environnement, rapport interne EDF, 26 p.

EDF, 1994. Compte-rendu du Comité Scientifique, 7-10 novembre 1994, Kourou, 12p.

GRÉGOIRE, A., nombreux auteurs, 1994. Actes des cinquièmes journées

"Environnement" relatives à la protection du site de Petit-Saut (Guyane), EDF Guyane, 151 p.

HOREAU, V., RICHARD, S., 1992. État d'avancement des travaux sur l'hydrologie du bassin versant du fleuve Sinnamary (chimie, biologie). Rapport final EDF Guyane, Cayenne. 90 p. + annexes.

NASCINETO Brito E. do, DOUMENGE C., 1992. Évaluation du dossier d'impact du barrage de Petit-Saut, en particulier de la question forestière. rapport interne, UICN Gland, Suisse, 70 p.

PAIRAUDEAU C., BARBIER C., JUBERTHIE C., ROUX A.L., THIOLLAY J-M., 1993. Projet d'aménagement de Petit-Saut. Compte rendu de mission, Ministère de l'Environnement, Paris, 36 p. + annexes.

PLANQUETTE P., SANITE L., 1989. Compte rendu de mission en Côte d'Ivoire. Document interne INRA-EDF Guyane, 17p.

Le Pou d'Agouti (nombreux auteurs), 1994. Le dossier "Petit Sôt", Revue de l'association Le Pou d'Agouti n°12, St Laurent du Maroni, pp 23-42.

"Le barrage de Petit - Saut sera le seul ouvrage de ce type à équiper ce département", a indiqué J.P. BENQUÉ Directeur exécutif d'EDF pour les départements d'Outre - mer, le 19 septembre 1995. Cette décision est dictée par des considérations économiques, mais aussi écologiques.

En 1994, la décomposition des végétaux noyés dans la retenue avait menacé d'asphyxier la rivière, contraignant EDF à stopper la production électrique pendant cinq mois ; le temps de mettre en place un dispositif de brassage de l'eau.

Au rythme actuel, la consommation électrique guyanaise double tous les six ans. Petit - Saut n'assurera l'indépendance énergétique du département que jusqu'en 2005. "Les deux autres sites susceptibles d'accueillir un barrage n'offriraient que trois années supplémentaires d'autonomie " a souligné M BENQUÉ. EDF optera donc pour des moyens thermiques au charbon ou au fioul. " Le sommet de Rio est passé par là", ajoute-t-il, "et, aujourd'hui, on hésite à ajouter une flaque sur l'Amazonie, le poumon de la planète."

H. MORIN - Le Monde, 21 septembre 1995

EDF : Electricité de France.

INRA : Institut national de Recherche Agronomique.

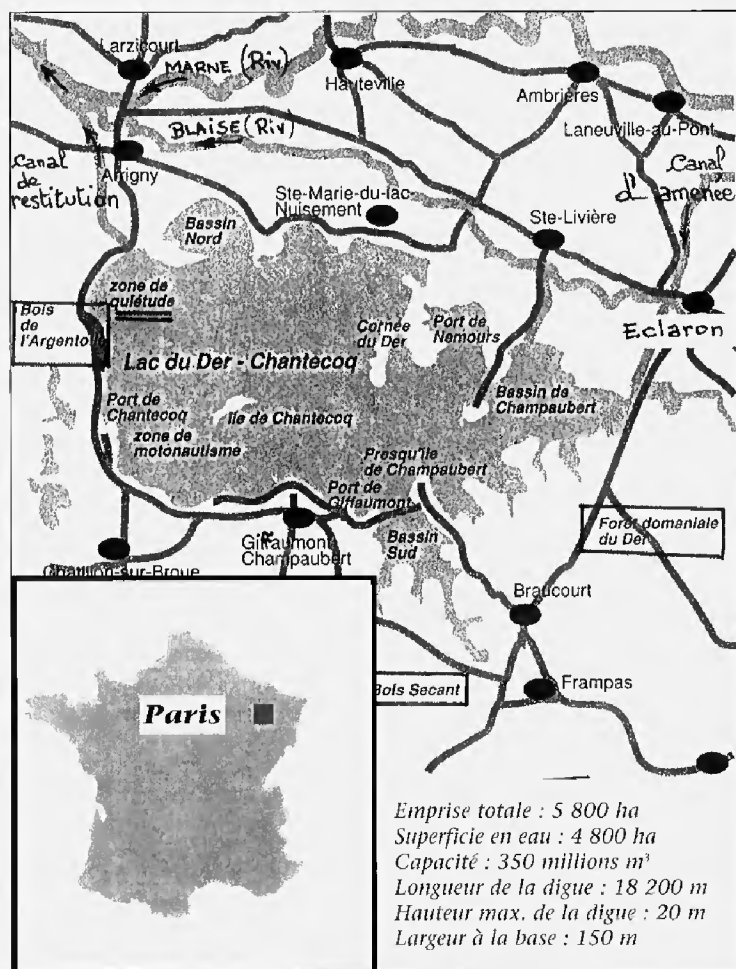
ONF : Office National des Forêts.

ORSTOM : Institut français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

EN CHAMPAGNE : LE LAC DU DER - CHANTECOQ

La Champagne, pays du vin... et quel vin!, est aussi celui des forêts et des lacs.

32



- capter les excédents d'eau d'hiver du cours de la Seine et de ses principaux affluents : Aube, Marne et Yonne ;

- restituer cette eau en été pour éviter les graves étiages du fleuve, nuisibles aux activités du port de Paris et à l'hygiène de la capitale.

C'est plus de 10 000 ha de plans d'eau, pour 800 millions de m³ de capacité totale, qui existent aujourd'hui dans cette région.

Après la seconde guerre mondiale a été réalisé le premier ouvrage du Der, d'une surface de 650 ha, construit en totalité sur une forêt domaniale. Il s'avérera trop petit et sera intégré en 1974 dans l'ouvrage que nous connaissons actuellement.

Des forêts détruites, mais un patrimoine forestier reconstitué

La région du Der est une région de chênes (sessile et pédonculé) dont la qualité, sur argiles, se révèle très bonne, voire excellente. Le mot "Der" provient d'ailleurs du vieux mot celtique "derw" ou "derf" signifiant "chêne". Les forêts concernées par le barrage étaient donc très productives en bois d'ébénisterie et de tranchage.

De plus, les chênes y étaient fréquemment accompagnés de feuillus précieux (merisiers, érables, frênes) très recherchés, et de feuillus divers. Tous les peuplements étaient traités en taillis sous futaie, ou, pour être plus précis, en "taillis avec réserves".

Quelques résineux y avaient aussi été introduits, mais sur des surfaces limitées.

Le taux de boisement dans la zone du lac était élevé, de l'ordre de 40%. Il n'est donc pas surprenant que la construction du réservoir ait entraîné

Le lac du Der - Chantecoq, plus grand lac artificiel d'Europe

Le lac du DER est un plan d'eau artificiel. Il est alimenté par les eaux prélevées dans la Marne, affluent de la Seine. L'ouvrage dispose d'une capacité de stockage de 350 millions de m³ et représente une emprise totale de 5 800 ha pour une surface en eau de 4 800 ha. Sa réalisation a entraîné la disparition de trois villages et de 2 000 ha de forêts. C'est le plus grand des trois barrages - réservoirs de Champagne et le plus grand lac artificiel d'Europe.

Un barrage sur la Marne pour régulariser le cours de la Seine

Depuis le début du siècle, et notamment après les inondations de 1910 et 1924, particulièrement sévères pour Paris et sa région, des projets ont été élaborés, consistant dans la construction de barrages - réservoirs destinés, en priorité, à régulariser le cours de la Seine (en amont de Paris).

Les grands lacs de Champagne ont donc été créés dans le but de :



Forêt de la région du DER.
Photo : CRPF Champagne-Ardenne.

l'exploitation à blanc de 2 000 ha, dont 1 950, soit la quasi-totalité, en forêt domaniale (y compris les 650 ha de l'ouvrage préexistant). Toutes les parcelles ont été exploitées entre 1966 et 1974, avant la mise en eau.

Les autres surfaces étaient occupées par les terres agricoles et surtout par des pâturages.

Pour compenser ces pertes forestières et celles entraînées par la construction des autres réservoirs, l'organisme maître - d'ouvrage⁽¹⁾ a fourni, avec l'appui technique de l'Office National des Forêts, un important effort d'acquisition d'abord, de reconstitution et transformation ensuite, de forêts ruinées, dégradées ou menacées, toutes situées dans le bassin de la Seine.

C'est ainsi que cet organisme est devenu propriétaire d'un patrimoine de 3 290 ha de forêts. Il a consacré à l'entretien et à l'aménagement de ces forêts 1 476 000 F en 1992 et 902 400 F en 1993 pour des recettes sensiblement inférieures, mais tendant vers un niveau d'équilibre.

Ces chiffres montrent bien tout l'intérêt porté par ce nouveau propriétaire à la gestion de ce patrimoine.

Des eaux sous surveillance permanente et de qualité améliorée

Le lac du Der - Chantecoq joue un rôle important dans la qualité des eaux, car il intervient d'abord à la manière d'un bassin de décantation. La qualité des eaux s'améliore donc au cours de leur passage dans le réservoir.

De plus, le lac agit comme un "piège" à phosphore et à nitrates.

Depuis une quinzaine d'années, des contrôles sont réalisés, des prélèvements effectués, des paramètres physico-chimiques mesurés ; ainsi, un véritable bilan écologique peut être dressé.

Une faune riche et protégée

Le lac est très rapidement devenu une zone privilégiée pour de nombreux oiseaux, un carrefour de migration de l'avifaune. Près de 260 espèces d'oiseaux s'y arrêtent, y séjournent et souvent y nidifient, dont grues cendrées, oies, canards et quelques pygargues à queue blanche...

Cette richesse a permis le classement du lac en "réserve nationale". Il est également classé au titre de la convention de Ramsar, comme zone naturelle d'intérêt faunistique et floristique (ZNIEFF) et comme zone d'intérêt communautaire pour les oiseaux (ZICO).

Outre les oiseaux, la faune sauvage terrestre est bien représentée tout autour du lac, parfois surabondante au gré du sylviculteur (chevreuils, sangliers).

Un tourisme de plus en plus développé

De par son ampleur et sa relative proximité de la capitale et des pays nord - européens, le lac du Der est devenu un lieu qui attire plaisanciers (voile et sports nautiques), pêcheurs et amoureux de la nature.

De nombreux équipements ont été créés afin de les accueillir... et les retenir :

ports, plages, sentiers de randonnée, parcours de pêche, "ferme aux grues", "maison de l'oiseau et du poisson",...

L'été est la saison de prédilection du tourisme, mais les observations d'oiseaux aux périodes de migration permettent de la prolonger en automne. Et le tourisme de nature offre maintenant une nouvelle saison d'activité hivernale.

En conclusion

Le paysage du Der est désormais fortement marqué par la présence du lac. Après les fortes réserves, bien naturelles, de la population au démarrage du projet, tout le monde s'accorde à dire aujourd'hui que, non seulement, le lac n'a pas créé une situation désastreuse pour l'environnement, mais qu'il l'a favorisé, tout en créant un nouveau pôle de prospérité pour l'économie locale.

À l'échelle régionale, ou même nationale, il est certain que les lacs de Champagne constituent une zone exceptionnelle, apportant un équilibre entre impératifs techniques (hydraulique fluviale), protection de l'environnement et promotion de la qualité de vie des populations.

Francis GAUDEMARD
Centre Régional de la Propriété
Forestière Champagne - Ardenne
6, place Sainte Croix
51100 Chalons-sur-Marne
FRANCE

1 IIBRBS : Institution Interdépartementale de Barrages - Réservoirs du Bassin de la Seine - Établissement Public.

L'EAU DANS LE BOIS DE L'ARBRE SUR PIED

d'après FISCHESSE B. "Connaître les arbres" Nathan, 1995

34

Dans le bois de l'arbre sur pied, la teneur en eau se trouve toujours à un niveau très élevé. Cela s'explique par le fait que le tronc assure le passage, depuis le sol, des quantités très importantes d'eau transpirée par les feuilles et nécessaire à leur activité physiologique (on estime qu'un arbre adulte, feuillu ou résineux, peut évaporer de l'ordre d'une centaine de litres d'eau par jour).

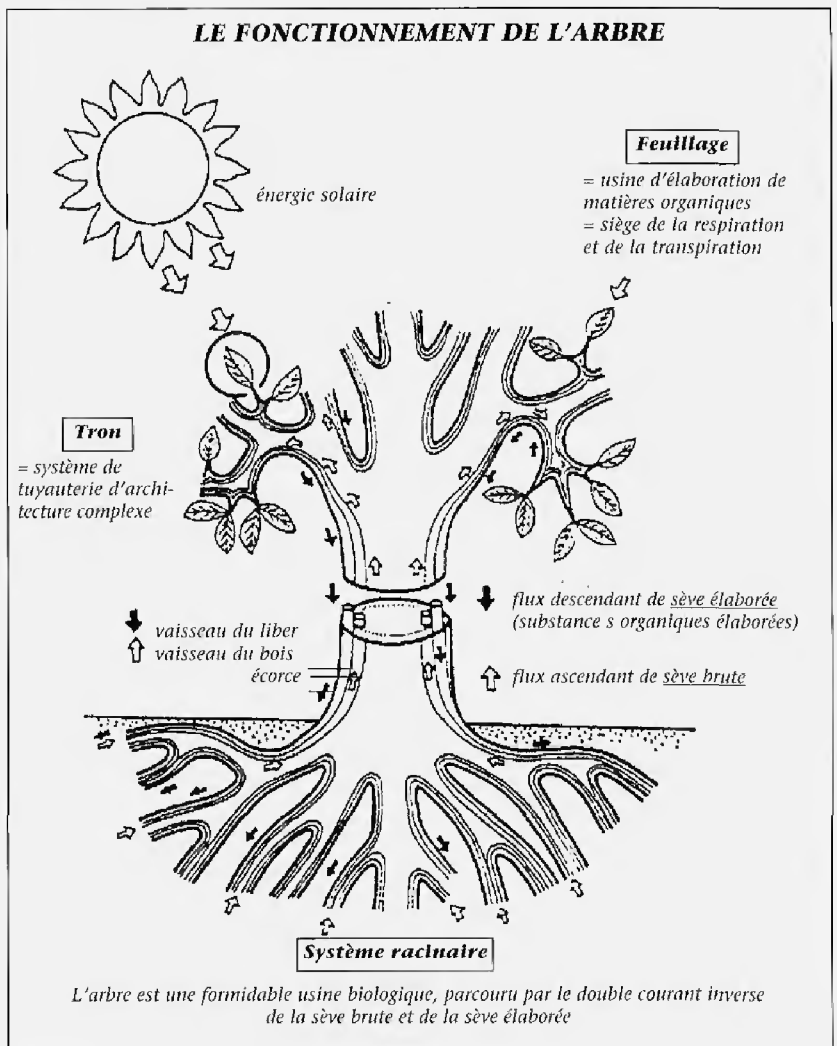
Circulation de l'eau dans le bois de l'arbre sur pied

À l'exception des rayons ligneux situés dans l'aubier et de quelques rangées de cellules (moins d'une dizaine) situées sous le cambium en activité, le bois est un tissu mort. Ceci n'empêche pas l'eau d'y circuler de bas en haut de façon intense, d'où l'idée communément répandue que le bois de l'arbre sur pied est un tissu vivant.

Chez les conifères, l'eau circule dans les trachéides ; chez les feuillus, l'eau emprunte les vaisseaux bien sûr, mais également quelques types de fibres particuliers. Le passage entre ces éléments anatomiques s'effectue au travers des punctuations et des perforations.

Pour simplifier, c'est l'évaporation du feuillage qui provoque une véritable aspiration de l'eau. À ceci s'ajoutent des mécanismes plus complexes à l'interface sol-racines qui expliquent la montée de sève chez les feuillus alors même qu'ils sont encore en bourgeons.

Cette "aspiration" permet de constituer à travers le bois de véritables colonnes d'eau capables de résister à des tensions de plus de 10 bars. La circulation basifuge (de bas en haut) vers les organes assimilateurs (aiguilles et



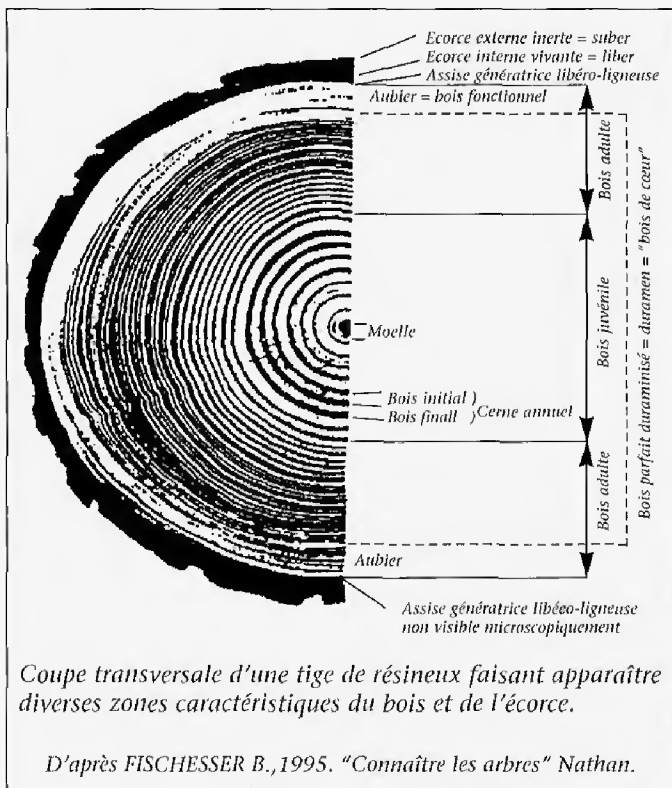
feuilles) assure le transport des sels minéraux extraits du sol par les racines. L'ensemble eau + sels minéraux constitue la sève brute.

Les assimilats résultant de l'activité photosynthétique du feuillage sont, quant à eux, transportés dans la sève élaborée circulant de haut en bas dans le phloème secondaire, à l'extérieur de l'assise cambiale. Ces assimilats sont conduits vers l'assise cambiale en activité pour constituer les nouvelles couches de bois, ou vers des organes de réserve (rayons ligneux, racines).

La circulation de l'eau dans le bois n'est pas homogène. Elle est localisée dans l'aubier. Dans le bois duraminisé, qui est plus ou moins distinct, la fonction de circulation est bloquée du fait de substances diverses déposées à l'intérieur des vaisseaux (thylose des feuillus) ou de l'obstruction des communications (punctuations) entre les trachéides des conifères.

La vitesse de circulation de l'eau dans le bois varie aussi en fonction :

- de la saison de végétation : en hiver, elle s'interrompt pour les



Coupe transversale d'une tige de résineux faisant apparaître diverses zones caractéristiques du bois et de l'écorce.

D'après FISCHESSE B., 1995. "Connaître les arbres" Nathan.

arbres à feuilles caduques ; elle diminue, mais n'est pas totalement annulée chez les Conifères, sauf si le sol est gelé ;

- des conditions climatiques: en cas de sécheresse, les essences bien adaptées à ces conditions peuvent interrompre la circulation de sève brute ;

- des caractères individuels, notamment le statut social de l'arbre : dans les arbres dominés, la vitesse de circulation est bien moindre que dans les arbres dominants ou codominants.

Teneur en eau du bois de l'arbre sur pied

La variabilité entre essences est importante. Cette teneur peut s'échelonner de moins de 50% à plus de 150%⁽¹⁾ dans les arbres sur pied.

Dans l'aubier, les conifères ont en moyenne un bois plus humide que les feuillus. Les bois de faible densité sont plus humides que les bois denses.

Contrairement à ce que l'on pense habituellement, le duramen n'est pas toujours moins humide que l'aubier. Si cela est toujours vrai pour les conifères

(sauf présence exceptionnelle de "cœur humide" dont on ignore l'origine), en revanche, chez les feuillus, il y a de façon moyenne, égalité entre les humidités du cœur et de l'aubier, avec, toutefois, de grandes différences entre essences : ainsi, par exemple, le bois de cœur du peuplier est plus humide que l'aubier, alors que les teneurs en eau de l'aubier et du duramen des chênes sont sensiblement égales.

L'effet de la saison sur la teneur en eau du bois sur pied est controversé, au moins en zone tempérée où les effets des sécheresses estivales se font

relativement peu sentir.

En cas extrême toutefois, des désordres dans le bois peuvent apparaître avec des résineux, et surtout en France, avec le sapin de Vancouver (*Abies grandis*). Cette essence à forte croissance peut présenter dans le tronc des fentes pouvant atteindre plusieurs mètres. Certains auteurs pensent que l'apparition de ces fentes serait due au fait que le tronc ayant perdu trop d'eau après une période d'aridité, le bois aurait amorcé un véritable "retrait de séchage" sur pied.

Il peut en aller autrement dans les pays tropicaux. Cela se comprend aisément pour les pays à longue saison sèche où les arbres à feuilles persistantes, indigènes ou introduits (eucalyptus) peuvent extraire, à l'extrême, leurs réserves internes en eau. Ce phénomène a été mis en évidence à partir de rubans dendromètres posés sur les tiges et observés périodiquement avec une précision très fine. Le même phénomène a pu être observé en zone de forêt dense humide lorsqu'une sécheresse climatique anormalement sévère est aggravée par une très faible réserve en eau des sols.

Quelques problèmes liés à l'humidité du bois pouvant survenir dans l'arbre sur pied

Il y a d'abord les pourritures. Les conditions idéales d'humidité pour le développement des champignons sont situées dans une fourchette de 25 à 50%. Par conséquent, tout accident (écorçage, bris ou élagage de grosses branches vivantes) qui met en contact le bois avec l'environnement extérieur (et les spores de champignons) et fait donc chuter sa teneur en eau par séchage superficiel, peut conduire à des développements de pourriture, à moins qu'une duraminisation traumatique ne s'y oppose.

Il y a encore, et évidemment dans les pays où peuvent subvenir de grands froids, le phénomène de la gélivure. Des fentes du tronc peuvent là encore apparaître, en relation très vraisemblablement avec la teneur en eau du bois, les troncs à forte teneur en eau semblant être frappés préférentiellement par le gel. Ce phénomène est particulièrement important en France pour les chênes (15% des arbres de cette espèce auraient ainsi été affectés par les hivers rigoureux de 1985-86 et 1986-87), mais il a été signalé aussi pour d'autres essences (peupliers, châtaigniers).

Gérard NEPVEU
Équipe Qualité des Bois,
INRA Nancy
54280 Champenoux
FRANCE

(1) La teneur en eau est exprimée en pourcentage de la masse anhydre.

Cet article est pour l'essentiel extrait d'une contribution à l'ouvrage : "Le bois, Matériau d'ingénierie. Textes rassemblés par Ph. JODIN. Association pour la Recherche sur le Bois en Lorraine. ARBOROL- Nancy 1994".

Cet ouvrage contient d'autres contributions pouvant intéresser le lecteur du Flamboyant, notamment "La constitution du bois" par René KELLER et "Le séchage du bois" par Patrick PERRE.

FONCTION, EFFET ET USAGE DE L'EAU DANS LA TRANSFORMATION MÉCANIQUE DU BOIS

36

La transformation mécanique et les utilisations des bois tempérés ou tropicaux sont largement conditionnées par les variations de structure du matériau liées à sa création par un être vivant, l'arbre. En conséquence, l'eau joue un rôle prépondérant dans la constitution du bois en relation avec ses principales fonctions biologiques ; ses effets, bénéfiques ou contraignants, doivent être pris en compte pour définir les itinéraires techniques les mieux adaptés et les moyens à mettre en oeuvre pour aboutir au produit final attendu. Les opérateurs qui interviennent en amont de la filière de transformation vont chercher le plus souvent à maintenir, si ce n'est augmenter la teneur en eau afin d'améliorer la conservation et faciliter l'usinage du bois. En revanche, cette eau devra être par la suite évacuée du bois afin de pérenniser l'intégrité du produit final et lui assurer une durée de vie conforme aux exigences de l'utilisateur. Par ailleurs, de par l'énergie qu'elle peut véhiculer, l'eau est parfois amenée à jouer un rôle auxiliaire non négligeable dans la transformation mécanique du bois.

L'EAU, FACTEUR DE CONSERVATION, DE STABILITÉ ET D'AMÉLIORATION DE L'USINABILITÉ DU BOIS

Stockage et conservation des grumes par immersion ou arrosage

L'immersion des grumes d'essences feuillues ou résineuses dans les rivières ou dans les lacs est une pratique ancestrale dans de nombreux pays, notamment en Scandinavie et dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord, mais aussi en zone tropicale. Il est connu par expérience que **les bois se conservent bien dans l'eau** et s'y manipulent plus aisément. Cette pratique est notamment intéressante lorsque les bois ne peuvent être transportés ou transformés, sous les tropiques notamment où les insectes et les champignons sont particulièrement virulents. Elle permet de plus de transporter les bois, parfois sur de longues distances, lorsqu'aucune autre voie de communication n'est disponible ; les grumes sont le plus souvent attachées entre elles pour constituer des radeaux dans lesquels sont parfois associés des bois lourds et des bois légers en proportion convenable pour assurer à l'ensemble une flottabilité suffisante.

Les insectes vivant dans le bois ont des besoins déterminés en oxygène, chaleur et humidité. De même, les champignons qui attaquent le bois sont des organismes aérobies qui ne peuvent prospérer qu'en présence d'oxygène gazeux, à un taux d'humidité compris entre 20% et 70-80%. L'immersion totale des bois détruit tous les insectes et inhibe le développement des champignons parasites et saprophytes du bois du fait du manque d'oxygène, et dans une moindre mesure par un effet de l'abaissement de la température du milieu.

Le stockage des bois dans l'eau obéit à certaines règles de base. Dans la mesure du possible, les grumes doivent être

totale­ment immergées car les zones de bois qui seraient éventuellement en contact avec l'air, notamment celles se trouvant au voisinage immédiat du niveau de l'eau et donc successivement mouillées et séchées, sont particulièrement sensibles aux attaques d'insectes. De même, l'immersion doit être limitée dans le temps afin d'éviter les risques de modification de la structure du bois.

Ainsi, certains bois anciens, qui présentent un intérêt archéologique, sont récupérés gorgés d'eau dans des eaux stagnantes (marais et terrains humides). Pendant leur séchage à l'air, ils présentent un comportement particulier par rapport aux bois récents. Ceux-ci retrouvent leur forme initiale à l'état sec alors qu'en séchant et en se contractant, un bois ancien se fissure, gauchit, ou s'affaisse et s'effondre sur lui-même de façon irréversible. Ce processus de détérioration est le résultat d'une attaque combinée de l'eau et de micro-organismes (processus physico-chimique de dégradation). Les principaux composants du bois (cellulose, hémicellulose et lignines) sont partiellement hydrolysés ce qui affaiblit le tissu cellulaire.

Lorsque les bois sont immergés en milieu marin (eaux salées ou eaux saumâtres), ils restent protégés des attaques d'insectes et de champignons ; cependant, ils se retrouvent exposés aux attaques d'ennemis redoutables, **les foreurs marins**. Ce qualificatif regroupe différents organismes vivants, essentiellement des petits crustacés, les pholades (mollusques qui creusent des cavités dans le bois pour s'y loger) et les tarets. Ces derniers, qui appartiennent aussi à l'embranchement des mollusques, sont de loin les plus dangereux. Se nourrissant de bois, ils creusent des galeries qui peuvent atteindre plusieurs millimètres à un ou deux centimètres de diamètre, et plusieurs dizaines de centimètres de longueur ; ils arrivent ainsi à détruire complètement des pièces de bois immergées dans des délais parfois très courts (de

l'ordre de quelques mois) si les conditions optimales d'attaque sont remplies, ce qui est presque toujours le cas en climat tropical.

Le stockage des grumes dans l'eau peut être organisé au voisinage des chantiers d'exploitation, mais aussi plus en aval, près des scieries, dans des **basins de flottage**. Un bassin de flottage permet la manutention et le classement des grumes, même de fortes dimensions, sans le concours d'un engin puissant. Les essences denses ne peuvent pas y être stockées sauf si le bassin est de faible profondeur et si l'équipement comprend un radeau avec un système de griffage et de relevage pour déplacer les grumes. Pour utiliser ce procédé, la scierie doit être située à proximité d'un cours d'eau. En plus de sa fonction de préservation des bois, le flottage permet de maintenir le bois à un taux d'humidité élevé ce qui **facilite le sciage**, et de nettoyer les grumes qui sont souvent recouvertes de terre et de gravier après débardage. Le stockage des bois dans l'eau permet par ailleurs **un relâchement partiel des contraintes de croissance** accumulées dans les grumes de certaines essences sensibles et d'éviter l'apparition de fentes dues à un séchage trop rapide, en particulier sous climat sec et très ensoleillé.

Lorsqu'il n'est pas possible de disposer de rivière, lac ou bassin de flottage, les bois peuvent être simplement maintenus humides par **arrosage**. Cette technique nécessite un empilement des grumes donc la prévision d'aires de stockage. Pour que l'arrosage soit efficace, les piles doivent être de forme géométrique nette. Il faut éviter les empilements de billons de longueurs inégales, les extrémités des billons les plus courts n'étant alors pas humidifiées donc très vulnérables. L'arrosage doit être continu en période chaude ; en période humide et froide, un simple arrosage de jour est suffisant. Il est possible que l'arrosage, tout comme l'immersion, entraîne une exsudation *des matières extractibles du bois*, particulièrement par les bouts. Ces exsudations, de couleur très variable, souvent avec une odeur de fermentation, ne présentent pas de risques pour le bois.

En France, la technique de conservation des bois par voie humide a été remise au goût du jour suite à la tem-



pête de novembre 1982 qui a conduit à l'exploitation de très importants volumes de chablis en Auvergne et en Limousin. De nombreux exploitants forestiers scieurs des deux régions sinistrées, mus par la crainte d'une réduction durable du volume de matière première disponible, ont décidé de conserver par voie humide d'importants stocks de grumes (environ 300 000 m³). L'expérience a été concluante, mettant en avant la bonne conservation des grumes à un coût réduit (entre 1,10 et 6,40F/m³, hors frais d'infrastructure et de reprise) à condition que les grumes soient sélectionnées préalablement (opération non rentable pour les grumes de faible valeur).

Sciage, déroulage et étuvage

La conservation des grumes par voie humide facilite les opérations ultérieures de première transformation (sciage, déroulage, tranchage) car le bois qui n'a pas séché ou qui a été réhumidifié est moins dur, plus souple, moins abrasif. Durant le sciage, l'effort de coupe augmente généralement dans de fortes proportions quand l'humidité du bois diminue. De ce fait, il est intéressant de scier les bois aussi verts et gorgés d'eau que possible, même si l'influence de ce facteur est d'autant moins sensible que la densité est élevée comme cela est le cas pour beaucoup de bois tropicaux. Seule, une action de la chaleur pourra alors modifier le comportement mécanique de ces bois durs.

L'étuvage des sciages (traitement à la vapeur à 90-100°C ou à l'air saturé à 60-80°C) est une technique dont l'origine semble remonter aux environs du 15^{ème} siècle mais qui reste encore souvent l'objet d'idées fausses ou floues ; ainsi, certains professionnels confondent étuvage et séchage alors que ces deux opérations sont totalement différentes. De façon similaire à la conservation des grumes par voie humide, mais avec un effet amplifié du fait de **l'action combinée de l'eau et de la chaleur**, l'étuvage présente un double intérêt :

- Il assure une désinfection et une stérilisation des bois en détruisant les insectes et les champignons qu'il contient ; le bois n'est pas pour autant définitivement protégé contre d'éventuelles attaques ultérieures de parasites. Une protection plus durable peut être alors envisagée grâce à un traitement des bois verts (sans étuvage préalable) par trempage (ou éventuellement par pulvérisation) en solution aqueuse. L'eau a dans ce cas une fonction de solvant pour les produits actifs hydrosolubles qu'elle véhicule à l'intérieur du bois par diffusion à travers les membranes cellulaires. Ce traitement doit être effectué dès que les bois sont sciés et débarrassés de leurs sciures.

- Il modifie certaines caractéristiques et améliore le comportement du bois lors des opérations ultérieures de transformation. Bien que cet effet bénéfique ne soit pas unanimement reconnu comme tel, il est admis par cer-

tains que l'étuvage "tuerait le nerf du bois", expression consacrée et imagée traduisant la relaxation partielle et progressive des contraintes de croissance développées par l'arbre sur pied¹. L'étuvage rendrait aussi les sciages plus faciles à travailler et à usiner, faciliterait leur séchage et homogénéiserait l'humidité du bois sur la section tout en améliorant sa stabilité dans le temps. De même, il demeure un traitement indispensable pour cintrer certaines pièces massives ou lamellées destinées aux bâtis ou carcasses de meubles et de sièges². La principale raison d'être de l'étuvage en scierie reste cependant liée à la modification de **teinte** de certains bois, recherchée pour certaines essences comme le hêtre à qui ce traitement confère une teinte rosée, voire rougeâtre ou acajou dans certains cas. La demande en bois colorés par étuvage ne provient pas de la France où la mode des bois clairs se maintient, mais d'une clientèle étrangère (Allemagne, Suisse, Italie, Maghreb) à la recherche de couleurs de bois plus soutenues et plus homogènes. Certains acheteurs demandent même à leurs fournisseurs des bois dont la couleur est identique à celle de sciages "témoins" qui présentent la coloration requise pour leurs fabrications. Avec un peu d'expérience et de pratique, les scieurs s'approchent rapidement de la teinte souhaitée par leurs clients, teinte qu'ils sont alors capables de reproduire par la suite connaissant la durée et la température du cycle d'étuvage correspondant.

Dans l'industrie du tranchage et du déroulage, l'étuvage des bois est rendu nécessaire, pour les feuillus durs et les essences tropicales notamment, afin de les ramollir et les rendre plus souples. Un bois chaud peut subir plus facilement des déformations plastiques ; cependant, le chauffage ne doit pas entraîner une perte d'humidité, d'où un **traitement thermique en milieu saturé**, à la vapeur ou à l'eau chaude, afin de

diminuer l'effort de coupe et de limiter par ailleurs le développement d'éventuels fendillements. Le traitement à l'eau chaude est moins rapide que le traitement à la vapeur mais moins brutal car il permet un échauffement progressif de la pièce, même en surface. De plus, il maintient le bois à une température inférieure à 100°C. Il est de ce fait réservé aux bois nerveux ou de couleur fragile, les autres étant étuvés à la vapeur. Certains bois très tendres, comme le peuplier, le tulipier, le tilleul, le samba, peuvent être déroulés ou tranchés à froid et ne supportent pas le traitement thermique. Dans la fabrication de placages pour l'ébénisterie (tranchage), l'étuvage intervient après le débit des grumes en "quartels" et l'écorçage. Dans la fabrication des panneaux contreplaqués, les bois sont étuvés juste avant d'être déroulés. Les températures et durées d'étuvage varient selon la densité des bois, de 40°C et 24 heures pour les essences tendres, à 85-90°C et trois jours pour les essences mi-dures à dures. La durée du traitement dépend aussi de l'épaisseur des pièces.

L'EAU, ÉLÉMENT INDÉSIRABLE DANS LA MISE EN OEUVRE DU BOIS

L'eau se comporte donc comme une véritable alliée lors des opérations de première transformation qui doivent être menées préférentiellement sur des bois verts, sinon gorgés d'eau. En revanche, l'eau contenue dans le bois devra être le plus souvent évacuée rapi-

dement des sciages et des placages que les transformateurs vont s'appliquer à sécher.

Le séchage, étape clef dans la transformation du bois

Utiliser et mettre en oeuvre des bois secs est une nécessité pour la plupart des opérateurs de la filière-bois, ceci pour des raisons multiples.

- Si le taux d'humidité du bois est inférieur à 20%, celui-ci devient inattaquable par les champignons et ne peut plus développer de pourriture.

- L'usinage (dégauchissage, rabotage, ponçage...) est de bien meilleure qualité lorsqu'il est effectué sur bois sec.

- Les techniques d'assemblage par collage nécessitent des bois secs à l'air (taux d'humidité maximum variable suivant les colles, mais systématiquement inférieur à 20%).

- Lors du séchage, le bois subit des variations dimensionnelles. En conséquence, les opérations ultérieures de fabrication et de mise en oeuvre ne sont envisageables qu'à des humidités correspondant à l'humidité de stabilisation du bois dans ses conditions d'utilisation.

- Les caractéristiques mécaniques du bois varient avec son taux d'humidité et sont d'autant plus élevées que celui-ci est faible.

Le comportement du bois vis à vis de l'eau est comparable à celui d'une éponge. Dans un bois vert ou saturé d'eau, une partie de l'eau remplit plus ou moins complètement les vides cellulaires et intercellulaires. L'évacuation de cette **eau libre** (= *ressuyage*) s'effectue en principe sans que le bois ne se contracte ni ne se déforme. Lorsque l'eau libre a entièrement disparu, le bois ne contient plus que de l'eau liée aux membranes des cellules par réaction chimique. Le départ de l'**eau liée** occasionne les phénomènes de retrait qui sont à l'origine du développement de fentes et de déformations des bois.

1. La controverse sur cet effet de l'étuvage serait à imputer au phénomène de recouvrance hygrothermique (= RHT) qui correspond à une libération sous l'action de la chaleur de contraintes accumulées dans le bois durant sa maturation. La libération de ces contraintes est brutale et tend à endommager le bois (développement de fentes radiales ou de roulures).

2. Le cintrage des bois trouve son origine dans le développement de la marine française. Aux XVIIème et XVIIIème siècles surtout, et jusqu'à la fin du XIXème, l'étuvage était pratiqué sur les bordages, planches épaisses recouvrant la membrure d'un navire ; l'étuvage des bordages a disparu avec le marché des bois de marine.

3. Une pièce de bois absorbe ou perd de l'humidité selon les conditions ambiantes en fonction de la température et de l'humidité relative de l'air. Son humidité atteint progressivement une valeur d'équilibre (dit **équilibre hygroscopique**) relativement indépendante de l'essence de bois. En première approximation, l'humidité du bois, sous climat tempéré, est de l'ordre de 8% en hiver à 12% en été dans une pièce chauffée à l'aide d'un chauffage central, 12 à 18% pour une charpente abritée et aérée, 10 à 15% pour des fenêtres et portes extérieures, et 15 à 18% pour des bois placés à l'extérieur, l'exposition au soleil pouvant entraîner une dessiccation superficielle.

Détermination du taux d'humidité des bois selon leur utilisation

Pour limiter les retraits, les fentes et les déformations des pièces de bois en service et pour que les assemblages aient une tenue suffisante, le bois doit être amené à une humidité correspondant à l'humidité d'équilibre moyenne en service³.

Par ailleurs, il peut s'avérer nécessaire de sécher le bois à une humidité différente de l'humidité d'équilibre en service pour des raisons technologiques (usinage, collage, finition) ; ainsi, l'application d'une peinture ou d'un vernis est déconseillée sur des bois insuffisamment séchés car l'humidité nuit à la bonne adhérence du produit de finition sur le support bois. Pour des emplois en structure, le séchage doit être adapté au type de construction et à la conception du bâtiment :

- des pièces de charpentes traditionnelles sont amenées à des humidités de 15 à 18% pour des combles aérés, ou 10 à 12% pour des combles habitables,

- pour certains ouvrages dont les assemblages sont peu sensibles aux variations de dimensions des pièces telles que les fermettes des charpentes industrielles assemblées par connecteurs, on tolère une humidité maximum de 22%,

- pour la charpente lamellée-collée, les contraintes inhérentes au collage imposent un taux d'humidité maximum de 15%.

Séchage des bois sciés

À la surface d'une pièce de bois, l'eau s'évacue par évaporation. À l'intérieur du bois, l'eau migre des zones les plus humides vers les zones les plus sèches, donc du centre vers la périphérie des pièces. Pour faciliter les échanges entre l'air et le bois, on constitue des lits de pièces de bois de même épaisseur entre lesquels sont intercalées des baguettes (appelées aussi liteaux). Les lits séparés par des baguettes constituent une pile. Le soin apporté à la constitution des piles est fondamental pour la réussite du séchage. Réussir une opération de séchage

Séchoir pilote du CIRAD-Forêt. Photo : CIRAD-Forêt.



revient à amener le bois à l'humidité désirée, d'une façon homogène dans le lot de bois et dans l'épaisseur d'une même pièce, ceci avec un minimum de déformations et sans développement de fentes ni autre dégradation. Les bois sont **séchés à l'air libre ou de façon artificielle**, dans un séchoir, ces deux modes de séchage pouvant être complémentaires.

Le séchage à l'air libre

Les bois fraîchement sciés ont une humidité élevée qui les rend sensibles à l'attaque des champignons, d'où la nécessité de les exposer rapidement à l'air libre. Il est important de faciliter la circulation de l'air qui se fait à la fois horizontalement entre les lits de planches (d'où une orientation des piles tenant compte des vents dominants) et verticalement car l'air qui se refroidit en raison de l'évaporation à la surface du bois devient plus lourd et a tendance à descendre. Des espaces doivent être ménagés entre les pièces de bois d'un même lit et les piles doivent être surélevées sur des supports imputrescibles. Pour obtenir un bon séchage, il est également utile de protéger les bois de l'action directe du soleil et de la pluie en les entreposant sous abri.

Pour accélérer le séchage ou le compléter pour obtenir des bois plus secs, on a recours à des procédés de **séchage artificiel** qui nécessitent des investissements, une bonne connaissance des phénomènes et des processus de séchage, ainsi qu'une grande prudence dans la conduite des opérations.

Le séchage artificiel

Le séchage artificiel peut être conduit suivant plusieurs techniques mettant en oeuvre différents types de matériels.

- **Séchage à air chaud climatisé.**

Dans un séchoir à air chaud climatisé, l'air soufflé par des ventilateurs est chauffé par des radiateurs, puis passe sur des rampes d'humidification (pulvérisation d'eau ou injection de vapeur). L'air chaud passe entre les lits de pièces de bois, se charge d'eau et se refroidit. Une partie de cet air est évacuée à l'extérieur par des cheminées réglables afin d'éliminer partiellement l'eau dégagée. Le cycle recommence après apport d'air extérieur pour compenser le volume évacué.

- **Séchage par chambres chaudes.**

Les chambres chaudes fonctionnent par convection naturelle de l'air : l'air chaud se charge d'humidité au contact du bois, se refroidit, s'alourdit et descend à travers la pile.

- **Séchage par déshumidification de l'air.**

Dans les séchoirs à air chaud climatisé, l'humidité est éliminée par évacuation de l'air humide à une température relativement élevée, ce qui induit une perte d'énergie. En utilisant une pompe à chaleur, l'eau en excès se condense sur une rampe froide (évaporateur de la machine) et l'air est réchauffé en passant sur un radiateur (condenseur de la machine), ce qui permet une économie globale d'énergie. Ce mode de séchage est cependant plus lent que les précédents.

• Séchage sous vide.

Une diminution de la pression de l'air permet d'augmenter la vitesse de circulation de l'eau dans le bois. Dans un séchoir sous vide, un vide partiel est créé, qui accélère le séchage. L'apport de chaleur est assuré par des plaques chauffantes en contact avec le bois ou par injection d'air chaud sous pression atmosphérique en alternance avec les cycles de vide.

• Séchage solaire.

Les séchoirs solaires dont beaucoup n'en sont encore qu'au stade expérimental, utilisent généralement l'effet de serre pour réchauffer l'air. Ce procédé n'est pas très rapide, mais la consommation d'énergie (ventilation forcée, chauffage de nuit éventuel) est évidemment plus faible qu'avec les autres procédés.

Cas particulier du séchage des placages

Les placages, obtenus par **franchage** ou **déroutage** et destinés à fabriquer des contreplaqués ou à servir de revêtement de panneaux, doivent être séchés à une humidité comprise entre 4 et 10% selon les cas. Un séchoir à placage est constitué d'un tunnel en tôle calorifugée dans lequel le séchage se fait par parcours inverse du placage et de l'air froid et sec admis à une extrémité du tunnel (côté sortie du placage sec), puis partiellement évacué chaud et humide à l'autre extrémité (côté entrée du placage humide). Le chauffage est obtenu par circulation de vapeur ou d'eau chaude sous pression (plus rarement de fluide calorifique synthétique). L'air chaud est guidé perpendiculairement par un système de tuyères.

CONCLUSION

Les fonctions, effets et usages de l'eau revêtent de multiples aspects au cours des différentes étapes de la transformation mécanique du bois.

À l'état saturé, l'eau confère à ce matériau des propriétés particulières appréciées par les opérateurs qui interviennent en amont de la filière de production : résistance accrue aux attaques des insectes et des champignons, amélioration de l'usinabilité et de la stabilité. Cependant, les traitements par voie humide appliqués au bois pour leur per-

UNE TECHNIQUE ORIGINALE D'USINAGE DU BOIS : LA DÉCOUPE AU JET D'EAU

Cette technique s'apparente au laser dans la mesure où une énergie importante est concentrée dans un rayon, lumineux pour le laser, fluide pour le jet d'eau. Une installation à jet d'eau fonctionne selon un principe très simple : l'eau contenue dans un réservoir est comprimée jusqu'à une pression importante puis évacuée à travers une buse calibrée. La vitesse ainsi obtenue est très élevée, ce qui confère au jet son énergie. Cette technique est utilisée pour débiter des matériaux très divers, qui peuvent être souples (caoutchouc, mousse, textiles ...) ou rigides (pierres, béton, amiante, ciment, bois, panneaux composites ...). Les matériaux fibreux sont plus difficilement usinables. Pour la découpe du bois, les paramètres suivants permettent d'obtenir des résultats satisfaisants : une pression de 2000 à 5000 bars ; une buse de 0,2 à 0,4 mm de diamètre ; une eau parfaitement pure parfois additionnée de macromolécules pour augmenter la cohérence du jet. La vitesse du jet varie de 600 à 1 000 m/s en fonction de la pression. À cette vitesse, le jet d'eau ne mouille pas le bois. Le débit varie avec la pression et le diamètre de la buse.

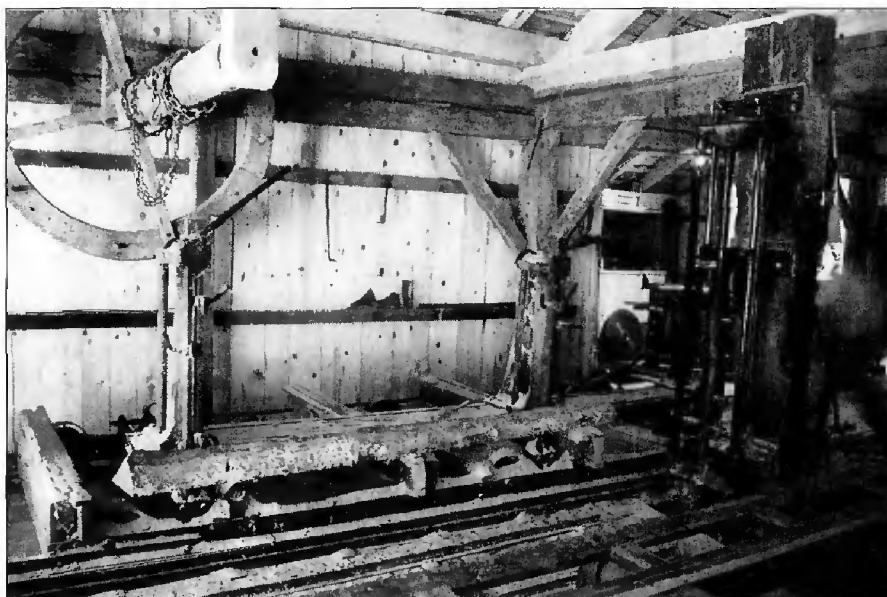
La découpe au jet d'eau présente de nombreux avantages :

- découpe de formes quelconques, avec possibilité d'amorcer le trait à n'importe quel endroit de la pièce ;
- perte au trait minime ;
- absence d'entretien d'outil ;
- consommation d'eau très faible (quelques litres à l'heure) ;
- précision de la découpe.

Elle a également des inconvénients :

- coûts d'installation, d'exploitation et d'entretien élevés, capacité de coupe réduite (15 à 20 mm d'épaisseur maximum pour le bois) ;
- déviation du jet en présence de singularités.

On peut penser que la découpe de pièces minces avec des tracés répétitifs et précis (puzzles, marqueterie) pourrait être un domaine d'application de cette technique qui actuellement n'est utilisée qu'à titre expérimental pour le bois.



Scie battante (Écomusée des Etouvières, Thones, France). Photo : P. M. VERCHERE.

L'EAU, ÉLÉMENT MOTEUR DE SCIERIES

- La mécanisation du sciage du bois a été pour la première fois rendue possible grâce à l'utilisation de la force motrice du courant des rivières pour assurer l'entraînement des lames de scie alternative ; ces premières **scies "battantes"**, fonctionnant de façon analogue à des moulins à eau, ont constitué un progrès considérable par rapport à l'ancestral sciage de long manuel ; certaines scies de reprise à lame circulaire ont de même été équipées de ce système d'entraînement. Les scies battantes sont aujourd'hui abandonnées mais quelques exemplaires sont encore en démonstration, notamment en France dans les Vosges et en Haute-Savoie.
- L'avènement de la **machine à vapeur** a été à l'origine d'une seconde révolution technique dans le domaine de la

transformation du bois ; jusqu'à la deuxième guerre mondiale, un nombre important de scieries fonctionnaient encore à l'aide de ce type d'équipement dont l'utilisation présentait cependant de multiples contraintes : allumage et entretien du foyer, obtention de la pression suffisante à l'heure de mise en marche de la scierie, nécessité de veiller à la qualité de l'eau pour éviter les phénomènes de corrosion de la chaudière... Le développement des moteurs électriques et des moteurs Diesel a naturellement conduit à la disparition de ces scieries, même si cette évolution ne revêt pas forcément un caractère irréversible compte tenu de l'intérêt que présente la récupération des déchets de bois et leur valorisation sous forme énergétique. Ainsi, l'électricité qui aujourd'hui fait fonctionner les moteurs de certaines scieries est fournie par des cogénérateurs qui tournent à l'aide de turbines alimentées par des chaudières à bois.

41

mettre d'acquies ces propriétés impliquent dans certains cas une opération de stockage plus ou moins prolongée, d'où un coût financier parfois pénalisant.

Par la suite, les produits issus de la première transformation, sciages et placages déroulés ou tranchés, doivent être rapidement séchés afin d'améliorer leur performance et faciliter leur mise en oeuvre ; paradoxalement, le séchage est rendu nécessaire pour des raisons similaires à celles qui justifiaient, en amont de la filière, le maintien si ce n'est l'augmentation du taux d'humidité des bois verts : résistance aux champignons, amé-

lioration de la qualité de l'usinage et de la stabilité des produits.

Le séchage des bois demeure une préoccupation majeure pour l'ensemble des acteurs de la filière de transformation et de commercialisation des bois. Opération indispensable dans l'optique d'une standardisation des produits, elle reste cependant considérée comme très contraignante par certains transformateurs. Ceux-ci considèrent que le séchage doit apporter un complément de valeur ajoutée à leur production par rapport à des bois commercialisés à l'état vert. En réalité, sécher les bois conduit le plus souvent à éviter une "non-

qualité" et par ce fait permet d'élargir et de développer les possibilités de marché.

L'eau, successivement facteur d'amélioration de la qualité du bois puis facteur limitant ses possibilités de mise en oeuvre, est en tout état de cause, un élément dont les effets doivent être obligatoirement pris en compte dans tout processus de transformation mécanique du bois.

Jean GERARD

CIRAD-Forêt Programme Bois
BP 5035
34032 Montpellier cedex
FRANCE

BIBLIOGRAPHIE

ALEON D., CHANRION P., NEGRIE G., PEREZ J., SNIÉG O., 1990. Séchage du bois Guide Pratique. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, 103 pages.

Association des Anciens Elèves de L'Ecole Supérieure du Bois, 1984. Pense Précis Bois. Editions H. VIAL, Paris, 564 pages.

BAYLOT J., DIROL D., VAUTHERIN P., 1987. La conservation des grumes résineuses par voie humide. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, 48 pages.

BECKER A., 1965. Pourquoi utiliser des machines à vapeur dans les scieries ? Bois et Forêts des Tropiques n°100, mars-avril 1965, CIRAD-Forêt, Montpellier, pp. 50-57.

BENOIT J., 1953. Un bon procédé de conservation des bois : l'immersion des grumes en eau douce. Bois et Forêts des Tropiques n°31, septembre-octobre 1953, CIRAD-Forêt, Montpellier, pp. 42-49.

C.T.F.T. Congo, 1972. Influence du flottage en mer sur la qualité du Limba. Bois et Forêts des Tropiques n°144, juillet-août 1972, CIRAD-Forêt, Montpellier, pp. 29-32.

C.T.B.A., 1984. Traitement préventif temporaire des bois en grumes. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, 7 pages.

CHANRION P., DAVESNE A., HOLL-MULLER E., 1993. L'étuvage des sciages. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, 47 pages.

DALOIS C., 1990. Manuel de sciage et d'affûtage. Centre Technique Forestier

Tropical, CIRAD-Forêt, Montpellier, 210 pages.

DEON G., 1986. Manuel de préservation des bois en climat tropical. Centre Technique Forestier Tropical, version en portugais (1989), en anglais et en espagnol (1990), CIRAD-Forêt, Montpellier, 116 pages.

DETANGER B., RAMIERE R., de TASSIGNY C., EYMERY R., de NADAILLAC L., 1974. Application des techniques de polymérisation au traitement des bois gorgés d'eau. Bois et Forêts des Tropiques n° 154, mars-avril 1974, CIRAD-Forêt, Montpellier, pp. 63-68.

JUAN J., 1992. Comment bien usiner le bois. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, 140 pages.

SALES C., 1986. Cours de séchage des bois tropicaux. CIRAD-Forêt, Montpellier, 59 pages.

TRANSFORMATION ÉNERGÉTIQUE DU BOIS

Le rôle de l'eau

42



Préparation d'une meule de charbon de bois au Togo.
Photo : P. GIRARD.

Quelques rappels

Parmi les propriétés du bois qui nous intéressent tout particulièrement, il convient de définir la notion de pouvoir calorifique. Le pouvoir calorifique exprimé en kJ/kg, est la quantité d'énergie dégagée par la combustion complète d'un corps. On distingue le pouvoir calorifique inférieur (PCI) et le pouvoir calorifique supérieur (PCS). Dans le premier cas, la vapeur d'eau fournie par la combustion n'est pas prise en considération, tandis que dans le deuxième cas, on tient compte des calories libérées par la condensation de la vapeur d'eau. Dans la pratique, on ne bénéficie que très rarement des calories apportées par la condensation de la vapeur d'eau et on utilise surtout le PCI. Sauf avis contraire, il ne sera question, dans la suite du texte, que du pouvoir calorifique inférieur.

Pour le bois, on peut retenir une valeur moyenne de 18 400 kJ/kg de matière anhydre quelle que soit l'essence et pour autant que le bois soit peu cendreur (ce qui est le cas le plus général).

L'eau du bois a deux effets essentiels. Il y a d'abord un effet pondéral :

plus le bois est humide, moins il contient de matière sèche à masse égale, c'est-à-dire que le pouvoir calorifique est réduit d'autant (fig. 1). Ensuite, lors de l'utilisation énergétique du bois, l'eau contenue dans le bois utilise une partie de l'énergie libérée pour être évaporée (environ 2 500 kJ/kg d'eau).

L'objectif étant de récupérer le maximum d'énergie du bois, on aura intérêt à laisser sécher le bois à l'air libre quelques semaines avant son utilisation.

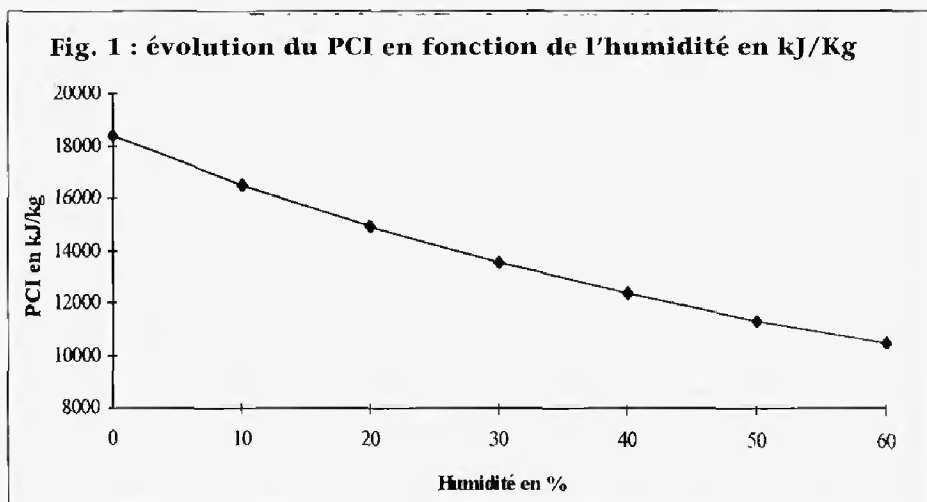
Influence de l'eau sur les rendements de conversion énergétique

La conversion du bois en énergie fait référence à un ensemble de processus qui interviennent sous l'action de la chaleur et qui produisent des changements de nature chimique des composés constituant les produits d'origine. Sous l'action de basses températures (400° à 500°C environ) et en l'absence d'oxygène, la biomasse est fractionnée en charbon, goudrons et produits gazeux. À haute température (plus de 1 000°C) et en excès d'oxygène, ces

Il n'est pas nécessaire de rappeler ici le rôle du bois énergie pour les pays tropicaux tant en termes économiques que sociaux. Il est peut-être un aspect plus mal connu des acteurs de la filière bois énergie ; c'est le rôle de l'eau lors de la transformation du bois en énergie.

Nous nous attacherons ici à préciser la relation eau/bois énergie à deux niveaux :

- définir l'influence de l'eau sur les rendements de transformations énergétiques du bois,
- préciser le rôle de l'eau du bois sur la qualité, voire les propriétés des produits transformés (vecteurs énergétiques).





Production de charbon de bois et déforestation au Sénégal.
Photo : P. GIRARD.

composés primaires sont complètement oxydés en gaz carbonique et en chaleur.

La nature de la matière première a des répercussions importantes sur les mécanismes réactionnels, comme sur les rendements de conversion et à ce niveau, l'eau joue encore un rôle essentiel.

Dans le cas de la production de charbon de bois avec les procédés conventionnels (meule, four métallique,...), l'énergie nécessaire à la conversion du bois en charbon est fournie par la combustion d'une partie de la charge du four, si bien que plus le bois est humide, moins d'énergie est potentiellement disponible à masse équivalente et surtout une plus grande fraction de l'énergie initiale sera consommée pour évaporer cette eau. Cette consommation d'énergie se fait au détriment de la production de charbon de bois comme l'illustre la figure 2 élaborée à partir de carbonisations de bois d'eucalyptus en four métallique de 4 m³ au Togo.

Le graphe fait apparaître une augmentation très nette des rendements de carbonisation avec la diminution de l'humidité des bois (coefficient de corrélation égal à 0,9). Des tests menés sur des meules traditionnelles conduites par des professionnels ont permis d'obtenir les mêmes résultats qu'avec les fours métalliques.

Rendement de combustion

La combustion étant une réaction destinée à faire passer la chaleur latente (PCI) du combustible en chaleur sensible, le rendement de combustion, en son sens strict, a pour valeur :

$$R_1 = 100 \frac{\text{chaleur dégagée}}{\text{PCI}}$$

La production d'imbrûlés (x en %) consécutive à de mauvais réglages souvent consécutifs à une forte humidité du combustible dans la pratique, traduit l'effet de ce pourcentage d'imbrûlés sur le rendement par la formule :

$$R_1 = 100 \frac{\text{chaleur dégagée}}{\text{PCI}} (1 - x/100)$$

Lors de la même campagne d'essais menée par le CIRAD-Forêt et l'équipe du projet AFRI au Togo, les mesures ont montré que l'ensemble des bois avait atteint une humidité inférieure à 30%, après deux mois de séchage à l'air. Dans ces

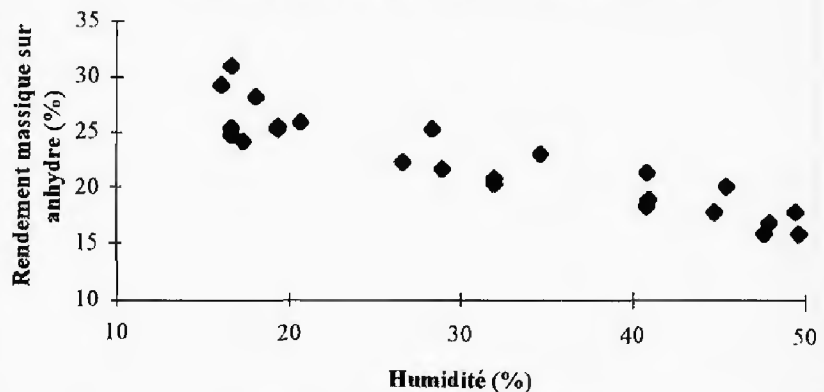
conditions, les rendements moyens escomptables pour autant que les matériels soient bien maîtrisés sont de l'ordre de 25 à 26% sur anhydre (poids de charbon de bois/poids de bois anhydre carbonisé), alors qu'ils sont de moins de 20% sur bois vert.

tive à la perte d'énergie). Ceci se traduit généralement par la formation d'imbrûlés : particules, CO,... qui outre les inconvénients en terme de qualité de service (pollution atmosphérique), que nous développerons un peu plus loin, contribuent à une chute importante de rendement (cf encadré).

Cette chute de rendement est également notable par suite de l'augmentation de perte par les fumées. En effet, si un bois a un taux d'humidité (Hb), pour 1 kg de bois humide, nous avons (1 - Hb) kg de bois sec et (Hb) kg d'eau présent également dans les fumées sous forme de vapeur c'est-à-dire :

Fig. 2.

Influence de l'humidité sur les rendements de carbonisation d'Eucalyptus tereticornis



Pour la production de chaleur, les phénomènes sont assez semblables puisqu'une partie de l'énergie est utilisée pour la vaporisation de l'eau. Une humidité initiale importante a pour conséquence de diminuer le rendement de conversion car l'énergie contenue dans la vapeur n'est généralement pas récupérée par condensation. Elle a, de plus, d'autres inconvénients qui sont liés à la diminution de la température de combustion (consé-

$$\frac{Hb}{18.10^3} \text{ moles d'eau}$$

ou

$$\frac{Hb}{18.10^3} \times 22,4 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3 \text{ de vapeur.}$$

Influence de l'eau sur la qualité des vecteurs énergétiques

Outre l'influence déjà considérable sur les rendements de conversion, qui se répercutent sur les ressources forestières des pays concernés, l'eau initiale du bois influe assez largement sur la qualité du produit final. Dans le cas de la production de charbon de bois, une humidité importante augmente les risques d'éclatement du bois provoquant de ce fait une plus grande friabilité du charbon (nouvelles pertes), une densité plus faible et un aspect général mal apprécié des consommateurs, qui refuseront ce charbon.

De fortes humidités augmentent la durée des cycles de carbonisation par suite de l'augmentation de la phase de séchage du bois, ce qui entraîne une diminution de la productivité. Les fortes humidités de bois lors de la carbonisation entraînent une multitude de petites contraintes (difficulté d'allumage, risque d'effondrement plus élevé dans les meules,...) qui, mises bout à bout, finissent par peser très lourd sur les forêts tropicales (cf. encadré ci-contre), même si les bons charbonniers ont développé un savoir-faire certain pour pallier ce type d'inconvénient.

En terme de production de chaleur, la qualité du service rendu se trouve très affectée par de fortes humidités de la matière première. On peut résumer les effets négatifs de la forte humidité en deux points essentiels :

- diminution de la température des fumées et donc diminution du rendement d'échange de la chaleur entre la paroi ou le fond de la marmite ;
- augmentation des pertes sous forme d'imbrûlés, solides (particules, résidus charbonneux) ou gazeux (CO₂,

CH₄) par suite d'une température plus faible. Pour maintenir une bonne combustion dans ces conditions, il est nécessaire d'imposer un excès d'air plus important qui contribue lui aussi à faire chuter la température. Il en résulte une pyrolyse plus lente et une plus grosse production de charbon de bois qui va de pair avec la présence de particules dans les fumées. Si ces émissions sont polluantes elles peuvent aussi être très gênantes lors de l'utilisation de foyers ouverts : risque d'asphyxie (si mauvaise ventilation) et gêne de l'utilisateur (agression de certains acides dégagés). Ces imbrûlés dans les chaudières ont également pour conséquence de provoquer un encrassement important des conduits (bistrage).

Conclusion

Si le bois constitue un combustible de toute première qualité, il convient de ne pas oublier que comme toutes les matières vivantes il contient de l'eau. L'eau étant incompatible avec la production d'énergie thermique, il conviendra dans tous les cas de bien sécher le bois avant toute utilisation.

Une perte de 1% du rendement moyen de carbonisation sur l'ensemble de la consommation de charbon de la ville d'Abidjan se traduit par un prélèvement supplémentaire annuel de 200 000 m³ de bois. Quand l'on sait qu'une bonne maîtrise des procédés ou que l'utilisation de procédés plus performants permettrait certainement un gain de cinq à dix points de rendement sur anhydre, on mesure les enjeux de la formation et du transfert technologique.

Philippe GIRARD
Patrick ROUSSET
Anne Marie VERGNET
CIRAD-Forêt Baillarguet
BP 5035
34032 Montpellier
FRANCE

* La teneur en eau du bois est exprimée par rapport à la masse brute (c'est à dire contenant de l'eau).

Anhydre : qui ne contient pas d'eau. Pratiquement : dont le taux d'humidité est inférieur à 25%.

LA FORÊT AU SERVICE DE L'EAU

Le secteur industriel et artisanal, par manque de moyen, est la principale source de pollution de la nappe phréatique. Les conséquences immédiates pour les populations concernées sont une indisponibilité chronique en eau potable. Face à la dégradation des sols et du réseau hydrographique de nombreuses régions tropicales, et face à l'échec des méthodes de gestion de l'eau, le CIRAD-Forêt propose une approche générale où l'arbre serait au service de l'eau.

Le principe repose sur l'utilisation de la biomasse ligneuse comme élément de dépollution de l'eau puis de production d'énergie avec destruction des polluants piégés dans ce qui constitue une matrice carbonée activée (MCA).

Ainsi le charbon de bois, principal produit de la pyrolyse du bois, est utilisé comme agent de dépollution, dans le domaine industriel sous une forme activée, grâce à ses propriétés absorbantes qui permettent la purification d'éléments liquides et gazeux.

Par la seule carbonisation, on envisage d'améliorer le pouvoir adsorbant des charbons en optimisant les paramètres de pyrolyse (température et durée de cuisson). Disposant d'une grande diversité de produits agricoles et sous produits forestiers, les essais menés en laboratoire doivent également

orienter nos recherches dans le choix de la matière première, l'intérêt étant de sélectionner les essences ou déchets offrant la plus grande aptitude à l'activation. Les techniques actuelles nous permettent d'espérer des surfaces spécifiques de l'ordre de 300 à 400 m²/gramme de matière (un charbon actif industriel se situe généralement aux environs de 900 m²/g de matière). L'objectif de ce travail concerne la mise en place de traitements simples et relativement peu onéreux par rapport aux systèmes actuels proposés sur le marché.

En terme de co-valorisation, les matrices carbonées actives étant non régénérables, le CIRAD-Forêt et le département "Génie des Procédés" de l'Université Technologique de Compiègne proposent un schéma qui doit permettre la combustion/incinération des matières carbonées polluées et la récupération du contenu énergétique pour une utilisation ultérieure (chaleur, force motrice). Le procédé consiste en la mise en forme d'un complexe triphasique, charbon, eau, air, pompable, transportable et qui puisse alimenter un brûleur. Cette co-valorisation peut permettre de supporter économiquement le coût de plantations énergétiques.

Les résultats actuels, tant dans le domaine de la pyrolyse que dans le procédé de destruction thermique des déchets fixés par les MCA, ouvrent de larges perspectives d'utilisation et de valorisation de la biomasse ligneuse au service de l'environnement et à la gestion d'une ressource abondante mais fragile : l'eau.

LE FLOTTAGE DU BOIS AU CANADA



Draveurs à l'œuvre sur un bras de la rivière St Maurice. Photo courtoisie : compagnie de flottage du St Maurice limitée Trois Rivières

“Les tentes avaient été dressées une quinzaine de jours auparavant par les draveurs du temps des glaces. On appelle ainsi, au pays du Québec, ceux qui, dès la première fonte des neiges, vont ouvrir les chenaux des rivières et préparer la grande drave. C'est, de toutes, la corvée la plus dure et la plus hasardeuse. Les hommes ont à se battre contre le froid, la neige et l'eau. D'une étoile à l'autre, ils doivent dégager les billes encavées* dans la glace, courir sur le bois en mouvement, s'agripper aux branches, aux rochers de bordure quand l'eau débâcle et qu'elle veut tout emporter comme une bête en furie”. Menaud, maître-draveur.

Au Canada français, le flottage s'appelle la drave en langage vernaculaire. Ce mot est dérivé de l'anglais “wood drive”, qui se traduirait par conduite du bois.

Le Canada est un des grands producteurs de bois dans le monde. En 1994, 182 millions de m³ étaient abat-

tus d'un océan à l'autre. De cette quantité environ 25 millions de m³ de résineux étaient toujours flottés en Colombie Britannique. Là-bas, sur la côte du Pacifique, le transport du bois consiste d'abord à charrier les billots* par camion jusqu'à une aire de tri. Puis, le bois est mis soit à la mer où il est flotté, soit chargé sur des barges ou jeté à l'eau et toué*. Par après, ce bois est acheminé soit directement à l'usine, ou peut rejoindre une aire de tri principale préalable à l'acheminement vers une usine.

Dans l'est, au Québec principalement, la période du flottage sur les rivières est, à toutes fins pratiques, révolue. En effet, c'est en 1995 que les grandes rivières servirent pour la dernière fois de train flottant aux millions de m³ de billes et billots qui allaient alimenter les nombreuses usines situées en majorité le long des cours

d'eau principaux qui se jettent dans le fleuve Saint-Laurent. On comptait quatre grandes régions de flottage : la région de Trois-Rivières avec la rivière Saint-Maurice, la région du Saguenay - Lac Saint-Jean, la région de l'Outaouais avec la vallée de la rivière Gatineau et enfin la région Côte Nord avec la rivière Manicouagan entre autres. Le flottage cessa pour trois raisons principales : des usines ont fermé, à Trois Rivières particulièrement ; l'approvisionnement se fait de plus en plus à partir de copeaux produits dans les scieries, et l'avantage économique n'était plus ce qu'il était car on flottait de moins en moins de bois. On mentionne souvent les pressions des autres utilisateurs des cours d'eau. Mais ce sont en définitive les raisons économiques qui ont amené la fin de la drave et non les considérations environnementales.

Le flottage des bois ne serait qu'une source mineure de pollution.
Le flottage du bois représente une source "mineure" de contamination de l'eau, révèle une étude commanditée par l'industrie forestière et dénoncée dès sa parution par des écologistes qui la jugent incomplète.
LA PRESSE mercredi 14 mars 1990

Mais auparavant, le flottage avait régné en maître pendant 150 ans comme moyen préféré d'acheminer la ressource forestière aux usines de transformation. Cette façon de faire était la plus

économique, car elle ne nécessitait pas la construction et l'entretien de réseaux routiers trop élaborés. On profitait donc du "chemin qui coule", comme les Amérindiens appelaient les cours d'eau navigables.

Au fil des années, presque tous les cours d'eau du Québec servirent au flottage du bois. Et cela sans compter leurs multiples affluents, petites rivières et maints ruisseaux qui tous étaient dravés. Vers le milieu des années 1980, 25% des vingt millions de m³ de résineux coupés en forêt publique, soit cinq millions de m³, étaient dravés sur les principaux affluents du Saint-Laurent. Le pourcentage de bois flotté atteignait plus de 50 % de la production deux décennies plus tôt.

Les origines

Les grandes épopées de flottage débutèrent avec le blocus continental de 1806 imposé par l'empereur Napoléon à l'Angleterre. Ce pays peu riche en ressources naturelles importait son bois principalement de ses voisins scan-

dinaves, ce que le blocus empêcha. Durant cette période l'Angleterre se tourna donc vers sa colonie du Canada pour prendre la relève. Une immense industrie se mit ainsi à tourner d'Ottawa à Québec. On coupa de vastes forêts de pins et de chênes afin d'alimenter les chantiers navals d'Albion. Ce fut le début d'une ère inégalée pendant laquelle on arrivait d'énormes radeaux composés de billots équarris. Ces radeaux formés sur les bords de la rivière des Outaouais filaient jusqu'à son embouchure, au lac des Deux Montagnes pour ainsi atteindre le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Montréal. Puis les "raftsmen"* conduisaient habilement ces radeaux jusqu'à Québec où ils étaient défaits. Les pièces de bois étaient alors chargées sur des bateaux qui mettaient le cap sur l'Angleterre.

Vint ensuite la période d'or des scieries, entre 1850 et 1900. On édifiait le pays et on n'avait jamais assez de bois pour la construction. On drava de plus belle les rivières pendant que s'édifiaient les fortunes des "grands barons du bois" qui créèrent des centaines de villages forestiers. Même la capitale du pays, Ottawa, fut édiflée sur un village où on

parlait de madriers de pins blancs, pins rouges, épinettes et sapins. Le bruit des sciages fit progressivement place aux grands débats sur le devenir du pays.

Et la drave continua. Mais, pour la majorité des billes, cela se passa différemment par la suite. La construction fit à partir du vingtième siècle une place de plus en plus importante à la pâte et au papier comme usage des bois du Canada, du moins dans l'est. De puissantes compagnies privées virent le jour sous l'impulsion de capitaux anglais et américain surtout.

Une épopée

Mais, suivons donc ensemble l'itinéraire d'une pitoune*, de la souche à l'usine, le long de la vaillante et forte rivière Saint-Maurice. Notre aventure ligneuse part de la région sauvage du Lac Cooper à 450 km au nord de Trois-Rivières. Là une équipe forestière s'active à abattre les grandes épinettes noires (*Picea mariana*). Les arbres sont ensuite ébranchés, puis débusqués et empilés au bord du chemin. De là trois mois plus tard, par une température glaciale de moins 30° C, les troncs sont embarqués avec des dizaines d'autres sur un camion qui va déposer sa charge 100 km plus loin sur les rives de la rivière Wabano. Là une tronçonneuse géante coupe la tige en pitounes de quatre pieds (1,22 m) et huit pieds (≈ 2,5 m). Puis elles sont déposées sur la surface gelée de la rivière. Au printemps, aux premiers coups d'eau des crues, les billes reprennent leur course fatidique. De rapides en

Fin le flottage des bois sur le Gatineau.

Une grande page de l'histoire forestière de l'Outaouais a été tournée, hier, alors que la Compagnie Produits Forestiers Canadien Pacifique (PFCP) a annoncé qu'elle allait mettre fin au flottage du bois sur la rivière Gatineau. 200 forestiers, 80 employés du flottage et 24 employés de l'usine de papier - journal de Gatineau perdront leur emploi au cours des prochains mois.

Tel est le bilan du programme de modernisation de l'usine qui va se traduire par l'ouverture de la toute nouvelle unité de désencrage. Quant à la disparition du flottage, elle est également due en partie à l'implantation d'un nouveau système de fabrication de pâte thermo-mécanique qui s'alimente en copeaux de bois plutôt qu'en bois ronds.

LA PRESSE jeudi 6 juin 1991



Bois flottant pris dans des estacades sur la rivière St Maurice.
Photo : Compagnie de Flottage du St Maurice.



Draveurs poussant le bois à travers les passes d'un barrage sur le Gatineau.
Photo : L. BOURDON.

Draveurs halant du billot à la gaffe sur les bords de la rivière Gatineau. Photo : G. LEFEBVRE.



rapides elles parcourent 200 km pour s'arrêter au barrage de Rapide Blanc où elles passent l'hiver gelées par milliers dans les eaux du lac. Puis en mai suivant, notre pitoune est poussée vers l'aval par des bateaux remorqueurs vers une glissoire aménagée dans le barrage. Elle a six autres glissoires à emprunter ainsi avant de parvenir à sa destination finale, dans ce cas, une usine à papier de Trois-Rivières.

Mais durant ce parcours, bien des hommes auront eu à s'activer pour acheminer le bois, et particulièrement les draveurs. Des équipes s'assemblent dès la fonte des neiges en mai. Parfois le travail commence à la dynamite, car il faut débloquer les monceaux de bois pris dans la neige et la glace. À certains endroits, afin de contrôler le débit du bois en aval et d'éviter que trop de billes s'égarant sur les berges, on arrange sur l'eau des barrages flottants formés de grosses poutres arrimées les unes aux autres. On appelle ces assemblages flottants des estacades.

Mais malgré ces précautions, une fois que les pitounes flottent, plusieurs seront capturées par les roches des rapides, ou se retrouveront échouées sur les rives.

C'est là que le draveur intervient encore une fois. Venant par canot sur l'eau ou par le chemin forestier, le draveur arrive avec sa gaffe, sorte de hallebarde de seize pieds (≈ 5 m), et son crochet à pitoune. À l'aide de ces outils, il repousse les bois à l'eau. Mais parfois même en période de crue, de gigantesques embâcles se produisent. Les billes sont alors entremêlées et forment un barrage au dessus de l'eau. C'est là qu'intervient le maître-draveur, homme d'expérience qui a travaillé depuis quinze ou vingt ans pour la compagnie forestière. L'homme, armé de sa gaffe,

**Q u é b e c
tarde toujours à
réviser sa réglementation sur le flottage du bois sur la Saint-Maurice.**

C'est que Québec étudie, analyse et tente de trouver des solutions à ce problème depuis un bon nombre d'années. En mars 1988, les ministères de l'Environnement et des Forêts ont formé un comité d'étude sur le flottage des bois. À la suite des recommandations de ce comité - rejetées en bloc par les représentants des riverains de la Saint-Maurice, le ministère de l'Environnement s'est vu confier le mandat d'inclure une réglementation

tion du flottage des bois sur les rivières. En vertu de ce même mandat, les ministères de l'Environnement et des Forêts devaient identifier la faisabilité et les coûts du transport terrestre des bois. En 1991, la firme choisie a remis une étude qui conclut à la faisabilité technique de l'arrêt du flottage. Pour elle, la solution la plus sûre consisterait à transporter le bois par la voie ferrée, et la moins coûteuse consisterait à transporter le bois par la route. Ce sont ces scénarios que la MENVIQ veut maintenant réviser.
LE DEVOIR lundi 3 août 1992

part du bord de l'eau et sautille d'une bille à l'autre pour arriver à la tête du blocage. Il est alors suivi par sa troupe de draveurs qui l'aide à défaire cet entremêlement de pitoune, une bille à la fois. Puis tout à coup, comme écoutant un second sens, un flair formé par l'habitude, le maître ordonne à ses travailleurs de regagner la rive. Alors, il se met à remuer les dernières billes qui retiennent l'embâcle. Puis soudain on entend comme une plainte profonde venir des profondeurs de la rivière. Elle semble se plaindre de cet harnachement, l'écume monte à la surface, menaçante. Les bois se mettent à remuer dangereusement. Le maître-draveur a juste le temps de regagner le bord : l'embâcle est rompu et les billes se ruent en aval...

L'auteur du présent article a vécu une telle expérience lorsqu'il dravait durant l'été 1968 sur les bords de la rivière Jacques-Cartier dans le parc des Laurentides, au nord de la ville de Québec. Il se souvient surtout des quatre ou cinq croix de sapin qui marquaient le sentier qui suivait la rivière et que les draveurs empruntaient pour se rendre sur les sites de drave. Sous la croix, une brève épitaphe : " ici on a retrouvé le corps de Jean Untel noyé, parti sur une tête d'embâcle ..."

Un avenir... culturel

Ces activités de flottage furent, à compter des années 60, de plus en plus critiquées par les écologistes et les autres utilisateurs des cours d'eau, pêcheurs, vacanciers, canotiers. De nombreuses études furent commandées tant par le gouvernement que les compagnies forestières. On trouva que le principal problème était la perte de débris d'écorce, qui atteignait en 1977, 240 000 tonnes annuellement pour tout le Québec. Ces écorces s'accumulaient en général sur quelques centimètres au fond des rivières. Dans des zones d'eau très calme et sur des sites de jetées de bois, on pouvait trouver des amoncellements ponctuels allant jusqu'à trois mètres. Cela semblait affecter les frayères à poissons d'eau fraîche comme le brochet et la perchaude. Par

Débar-rassée de ses billes de bois, la rivière Saint-Maurice ne sera plus jamais la même.

Vendredi, les dernières billes de bois ont été mises à l'eau à la jetée de Rivière du Lait.

La décision de cesser le flottage du bois fait suite à la mise en œuvre de différents projets

contre, qui le flottage des billes et leur accumulation à l'aide d'estacades semble avoir eu des impacts négatifs surtout pour la navigation des plaisanciers qui risquaient de heurter des billes flottantes ou d'être retardés ou bloqués par les estacades.

De nos jours les compagnies de flottage, qui ont été créées pour draver tous ces bois, terminent leur existence traditionnelle en effectuant le nettoyage des fonds d'eau et des rives des rivières dravées par le passé. On estime que tout ce nettoyage à fond sera terminé en 1998. Alors on ne parlera plus

ont nécessité la construction d'un pont et d'un important réseau routier en forêt. Le nettoyage des berges et l'élimination des infrastructures le long des rivières s'échelonnent normalement jusqu'en 1998.

LA PRESSE lundi 30 octobre 1995

de la drave au Québec que comme un métier du passé, avec ses héros, ses misères et ses gloires. Mais on n'oubliera pas ce travail, preuve en est l'organisation à Trois-Rivières d'une rencontre internationale sur le flottage. En effet, c'est là qu'a eu lieu du 3 au 6 octobre 1996 la neuvième rencontre des flotteurs et rade-liers. Cette activité d'abord culturelle vise à conserver le patrimoine et favoriser l'échange d'informations sur le transport du bois par eau. Car au Canada, on entendra longtemps encore résonner entre rapides et rochers, dévalant le flot, la chanson du draveur si bien rendue par Félix Leclerc :

" À l'angélus de ce matin, le chef de drave, le gros Malouin a dit : Les billots sont pris, qui d'entre vous avec sa gaffe Va faire un trou pour que ça se dégrafe ? Celui-là r'viendra pas...

C'est en chantant... Que McPherson a pris le large... tout seul sur son radeau... avec la bouée éternité qui lui jazzait au nez...!"

Michel LAVERDIÈRE

Agence Canadienne de Développement International
200, Promenade du Portage
Hull (Québec)
CANADA K1A 0G4

Bibliographie

Collectif, 1988. Rapport du comité d'étude sur le flottage- Annexe : Les rivières du Québec servant au flottage du bois, Québec, Ministère de l'environnement et ministère des Forêts, 4 p.

DE LAGRAVE F., 1984. L'épopée des draveurs de la Mauricie, Trois-Rivières, La Compagnie de Flottage du Saint-Maurice, 232 p.

DRAPEAU J.-P., 1989. Flottage du bois : l'économie versus l'environnement ?. Franc Nord, Québec, pp. 7-11.

Nové Environnement Inc., 1990. Étude quantitative de l'impact du flottage du bois sur la qualité du milieu aquatique- résumé, Trois-Rivières, Association des Industries Forestières du Québec Ltée, 5p.

SAVARD F. A., 1937. Menaud maître-draveur, Montréal, Fidès, (réédition 1984), 237 p.

Communications personnelles :

- M. Less Kiss, président, the Coast Forest and Lumber Association, Vancouver
- M. Luc Lafond, directeur général, Compagnie de Flottage du Saint-Maurice, Trois-Rivières
- M. François Ledoux, directeur, Le Château Logue, Maniwaki

Lexique

Billot : équivalent canadien d'une grume, c'est-à-dire d'une tige ébranchée.

Encavé : enfermé dans la neige.

Raftsmen : en anglais littéralement hommes des radeaux, radeliers.

Pitoune : viendrait selon une théorie étymologique de Happy town (village joyeux). Les bûcherons canadiens-français en Nouvelle-Angleterre étaient de joyeux lurons et on surnommait ainsi leurs villages. Par après on déforma l'appellation pour signifier l'objet du travail de ces forestiers, la coupe de bois en billes produites par ces gens de Happy town (pitounes)!!!!...

Toué : se dit d'un bâtiment de navigation remorqué à l'aide d'un toueur ; un toueur se déplace par traction sur un câble qui repose au fond d'un chenal et s'enroule sur le tambour d'un treuil porté par le remorqueur.



Remorqueur poussant la pitoune sur le Gatineau. Photo : KEN ALLAN.

LE FLOTTAGE DES BOIS TROPICAUX

Depuis des temps immémoriaux, l'homme a utilisé avant la mise en place de toute infrastructure terrestre la voie d'eau comme moyen de communication et de transport de matières premières, de matériaux ou de produits. La même démarche a bien sûr été reprise par les "coupeurs de bois" tropicaux dès la mise en exploitation de ces régions à la fin du siècle dernier ou au début de celui-ci.

À cette époque, abattage et tronçonnage à la hache s'effectuaient à proximité de cours d'eau. Les billes étaient ensuite roulées ou tractées manuellement, sur quelques centaines de mètres au plus, jusqu'à la berge pour être mises à l'eau ou poussées dans les thalwegs où elles attendaient la tornade, la crue ou la marée pour descendre au fil de l'eau, par bille isolée ou par radeau de quelques billes, jusqu'à une rivière permanente où des radeaux de plus grande taille étaient constitués.

Cette situation perdure encore et partout où des voies d'eau existent, qu'il s'agisse de fleuves, de rivières, de torrents, de lacs ou de lagunes, leur utilisation est toujours envisagée surtout si la distance est grande ; cependant, rares sont les exploitations pour les-

quelles désormais le flottage constitue le seul moyen d'évacuation des bois.

Dans la grande majorité des cas, il n'est plus qu'un chaînon complémentaire après transport routier sur plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres ou intermédiaire entre ce dernier et une reprise sur train ou sur camion, avant d'atteindre le port ou l'entreprise de transformation.

Méthodes de flottage

La méthode très généralement utilisée est le flottage en radeaux. Le flottage par billes isolées ne se pratique plus que dans quelques zones bien spécifiques et limitées : varzeas brésiliennes, zones montagneuses d'Asie du Sud-Est. Il ne concerne que des distances très réduites sur des cours d'eau peu larges pour des billes plutôt courtes. Cette méthode à faible productivité n'est pas jugée compatible avec l'activité et la productivité normales d'un chantier.

Aussi dès que le cours d'eau s'élargit, installe-t-on un barrage flottant constitué d'une ligne continue de grumes reliées par un câble, à l'abri duquel on peut assembler les billes en radeaux.

Les techniques d'assemblage sont variées d'une région à l'autre en fonction des habitudes et des besoins. Parmi les plus courantes :

- la méthode africaine avec billes assemblées parallèlement à la direction du déplacement. On forme d'abord des ramettes comprenant plusieurs longueurs de grumes placées bout à bout et assemblées par :

* des perches de bois dur placées transversalement et reliées aux billes par des câbles d'acier et des crampons à anneaux enfoncés dans les billes et appelés "lance à boucle" ou pigouilles ;

* uniquement des câbles passant successivement dans les boucles des crampons et parfois entrecroisés en diagonale.

Au Congo, une bille transversale est généralement placée à l'extrémité de la ramette, formant donc un cadre rectangulaire avec les billes extérieures. Plusieurs ramettes sont solidement réunies pour constituer un radeau qui est poussé par une embarcation ;

- la méthode gabonaise : les billes sont placées côte à côte perpendiculairement à la direction de déplacement. Elles sont reliées par un câble placé au milieu des billes et passant dans des crampons de fer enfoncés dans le bois. Les billes sont assemblées en rames élémentaires de 60 à 80 billes. Plusieurs rames regroupées constituent un radeau qui selon les rivières pèse de 300 à 1 800 tonnes et est tiré par un remorqueur ;

- la méthode américaine, côte ouest : les grumes sont rangées à l'intérieur d'un cadre flottant formé par des bois de grande longueur, reliés entre eux, par des chaînes ou des fils, grâce à des trous de 10 cm de diamètre, percés à chaque extrémité. Les grumes ne sont pas maintenues individuellement par des crampons et des câbles.



Confection de radeaux de Ramin, Kalimantan.
Photo : J. ESTEVE.

Pour donner de la rigidité aux radeaux, les bois d'encadrement sont reliés entre eux par des rondins posés sur des grumes flottantes pour les maintenir dans le cadre.

Ces radeaux ont souvent 9 m de large, 30 à 45 m et plus de long. Plusieurs sections ainsi constituées peuvent être placées les unes derrière les autres ;

- la méthode indonésienne ou radeaux en arête de poisson. Pour les bois à bonne flottabilité, Meranti par exemple, les dromes sont assemblées en "arête de poisson", c'est-à-dire qu'un câble de nylon relie les billes les unes aux autres en passant à l'intérieur des anneaux de crampons enfoncés à l'une des extrémités de la bille ; l'autre extrémité restant libre.

La drome ainsi formée est suffisamment solide pour être halée sans inconvénient par des remorqueurs relativement puissants.

La taille des radeaux constitués généralement d'une seule drome, parfois deux, atteint 2 000 m³ lorsque les caractéristiques de la rivière le permettent.

Les bois de densité voisine ou supérieure à 1 ne flottant pas, peuvent cependant être transportés par flottage à condition d'intercaler des bois flottants. Ce procédé de radeau mixte est utilisé dans certains pays d'Afrique et d'Asie, mais lors de la reprise dans les ports, les risques de perte sont sensibles.

Le tonnage des radeaux varie énormément selon la largeur de la rivière, sa profondeur, la vitesse du courant et la saison de remorquage. Quelques exemples : au Gabon sur bief à navigation difficile en période de basses eaux : 40 à 50 tonnes ; sur l'Oubangui, convois atteignant 1 800 tonnes.

Mise en œuvre et technique de flottage

La capacité de remorquage dépend de la puissance du remorqueur, du volume et de la forme du radeau, de la vitesse du courant, de l'action du vent, notamment du vent de travers sur les rivières larges.

Radeau en arête de poisson. Photo : J. ESTEVE.



Confection de radeau avec câble et pigouilles. Photo : J. ESTEVE.



Le remorquage n'est jamais effectué contre le courant, solution trop coûteuse. On ne remonte donc pas les rivières.

La progression du radeau est assurée par le courant lui-même. Le remorqueur assure seulement le guidage et le contrôle de direction en composant son effort de traction avec les poussées latérales dues au vent et au courant. Sa vitesse par rapport au courant ne dépasse pas 2 km/h.

Avec des radeaux de forme ramassée dont la cohésion est assurée de façon assez rigide, on peut pratiquer le

poussage en plaçant l'embarcation motrice encastrée à l'arrière. Son rôle consiste alors à diriger le radeau et à le maintenir dans les eaux assez profondes. Le poussage apporte un grand progrès par rapport au remorquage : le convoi se contrôle mieux et se manie comme un ensemble.

Les remorqueurs utilisés sont souvent d'un modèle voisin des petits remorqueurs de servitude utilisés pour le déplacement des chalands dans les ports : moteur diesel de 50 à 200 ch, tirant d'eau assez faible : 0,8 à 1,5 m, port en lourd de 2 à 5 tonnes.

LE TRANSPORT DU BOIS PAR FLOTTAGE AU CONGO

Au Congo, le bois représente les deux tiers du tonnage transporté par l'agence transcongolaise (ATC) qui entretient et dessert un réseau fluvial de 5 000 km.

Deux modes de transport encore utilisés

- Le flottage des grumes, assemblées en lits (de 24 à 26 billes en moyenne) formant des radeaux, permet de transporter les bois jusqu'à Maluku, site d'attente avant l'évacuation par le chemin de Fer Congo Océan. Le flottage des radeaux de quatre à neuf lits (200 à 400 billes) peut atteindre 500 à 1 600 m³ de bois transporté. Le mode de navigation appliquée dans le trafic du bois par flottage est la navigation des radeaux en poussée. La capacité de transport des bois en grumes flottées entre Brazzaville et Ouesso varie de 24 à 34 jours ; le volume moyen poussé annuellement est de 7 400 m³ par micro-pousseur (pour sept mois par an).

- Le transport par barge des sciages ou de certaines grumes (essences à forte densité ou grumes de premier choix) accélère l'acheminement sur Pointe Noire des bois du nord du pays, mais coûte plus cher.

La capacité de transport des bois par barges entre Brazzaville et Ouesso est de 23 jours en période de hautes eaux et 27 jours en période de basses eaux. La navigation par barges est possible environ neuf mois par an sur la basse Sangha (Brazzaville-Ouesso) et six à sept mois par an sur la haute Sangha (Ouesso-Salo-Nola).

Par ailleurs le flottage étant un transport intermédiaire, il suppose un aménagement des berges aux points de mise à l'eau et de reprise des bois. A l'issue du transport grumier, la route aboutit à un débarcadère où les camions sont déchargés par diverses méthodes et les billes mises à l'eau par l'intermédiaire d'une rampe constituée d'un alignement de rondins disposés perpendiculairement à la rive. Les billes

- Si le flottage exige moins d'investissements que le transport par barges et présente moins de risque d'accident en période de tirant d'eau libre, l'évacuation des bois par flottage se heurte cependant à quatre genres de difficultés :

- en période de basses eaux, les radeaux de navigation ne trouvent pas les hauteurs d'eau nécessaires pour leur enfoncement ;

- en période de hautes eaux, ils sont gênés par la vitesse du courant et l'inondation des berges ;

- sa lourdeur vis-à-vis de transports concurrents (le transport sur barges) ;

- l'impossibilité d'acheminer par flottage des essences à forte densité et des essences fragiles.

Au-delà du transport, le flottage protège le bois

Au port d'embarquement il existe un quai maritime des bois flottés dans lequel on pratique l'immersion des billes d'okoumé ou de limba. Les avantages de cette technique sont :

- la protection contre les insectes du bois et l'économie de traitement au cryptogil alors réservé à la seule partie émergée des billes ;

- le désencombrement des quais sur terre-pleins.

Georges MAPOLA

Direction des Eaux et Forêts
BP 58 Djamboula
CONGO

mises à l'eau sont retenues avant assemblage des radeaux par un barrage formé d'une ligne continue de grumes flottantes reliées par un câble amarré à la berge.

L'équipement du point de reprise après flottage exige toujours un quai, une grue généralement fixe et souvent un chargeur frontal pour les diverses manutentions de stockage à terre.

Compétitivité du transport par flottage

Son coût peu élevé le fait souvent préférer à d'autres moyens de transport pour les distances supérieures à 250 km. Par contre, l'incidence des ruptures de charge le rendent peu compétitif sur courtes rotations.

En effet, au coût de remorquage proprement dit, il convient d'ajouter les dépenses :

- d'installation du débarcadère, déchargement des camions et mise à l'eau du bois, ainsi que de confection des radeaux,

- de filins et crampons,

- des taxes fluviales,

- de reprise éventuelle des bois à l'issue du flottage,

- des assurances pour les pertes de bois ou le coût des pertes réelles auquel s'ajoute le coût du défraichissement des bois si ceux-ci restent trop longtemps dans l'eau. Ces postes ne sont jamais négligeables ; le flottage comporte toujours des risques.

Toutes ces dépenses annexes accroissent sensiblement le coût et pèsent sur le choix si plusieurs moyens de transport sont en concurrence. En particulier ces opérations annexes rendent sans intérêt le passage du transport routier à un autre moyen, si ce dernier se pratique sur une distance courte en moyenne inférieure à 200 km.

Jean ESTÈVE

ONF

2, avenue de Saint Mandé
75012 Paris
FRANCE

L'HIPPOPOTAME

(*Hippopotamus amphibius*, Linné, 1758)

52



Hippopotame, parc de la Bénoué (Cameroun).
Photo : F. LAMARQUE

Fang : N'goubou ou N'gomba ou N'zok
Fulfuldé : Ngabou
Gula : Mondro
Mooré : Yèmdé
Ouolof : Lée béér
Pygmée Aka (RCA) : Ngubu
Sangô : Kono, Ngoumbou
Sara : Kédeu
Swahili : Kiboko

Description

Énorme masse de chair et de graisse, l'hippopotame a l'aspect d'un tonneau reposant sur des membres courts, le ventre rasant le sol. Ses mensurations imposantes (longueur totale, du bout du mufler à l'extrémité de la queue : 320 à 420 cm, hauteur au garrot : 130 à 165 cm, poids variant de 1 300 kg pour les femelles les plus légères, à plus de 3 200 kg pour les plus gros mâles) le placent parmi les plus grands mammifères terrestres actuels. C'est en effet le troisième par le poids, après l'éléphant et le rhinocéros blanc, mais avant le rhinocéros noir.

La peau, très épaisse et riche en glandes à mucus, a une teinte variant du brun chocolat au gris. Cette couleur est éclaircie sur les parties inférieures ; les joues, la gorge et le ventre sont roux à rosés. Le corps est parfois coloré en rouge violacé par une sécrétion glandulaire à odeur forte, la "sueur de sang" dont le but est de protéger la peau de l'animal contre la dessiccation. La peau des hippopotames y est en effet très sensible. Ils ne peuvent rester hors de l'eau aux heures chaudes. Ils sortent cependant dormir "en tas" sur le sable le matin.

La tête, énorme et large, se termine par un mufler carré qui porte quelques poils très longs et très durs. Les yeux et les narines sont proéminents. Cette

Systématique, répartition et habitat

Parfois rangé parmi les "Mégaherbivores", l'hippopotame fait partie de la classe des Mammifères, du super-ordre des Ongulés, de l'ordre des Artiodactyles, du sous-ordre des Porcins et de la famille des Hippopotamidae.

Cette famille présente uniquement en Afrique, comprend, outre l'hippopotame amphibie, une seule autre espèce : l'hippopotame pygmée ou hippopotame nain (*Choreopsis liberiensis*). Cet animal nocturne, récemment découvert, puisqu'on le croyait fossile jusqu'en 1911, vit dans les forêts marécageuses et les marigots entourés de forêt dense bordant le golfe de Guinée (Guinée, Sierra Leone, Liberia, Côte d'Ivoire et Nigeria). Il est en voie d'extinction malgré une protection totale.

L'hippopotame amphibie est présent dans une grande partie de l'Afrique tropicale (voir carte) où il peuple les rivières avec des biefs profonds, les étangs, les mares, les lacs, voire les flaques de boue (hippopools) en fin de saison sèche, etc. Il préfère les eaux troubles entre 18 et 35°, et évite

les berges densément boisées, abruptes ou rocheuses ainsi que les eaux à fort courant. Très à l'aise dans l'eau malgré sa masse, l'hippopotame peut flotter, nager, marcher au fond de l'eau et plonger pendant une moyenne de une à six minutes. On signale une plongée record de 29 minutes en captivité réalisée par un individu effrayé par un chien. Avant une plongée, l'inspiration est prise très rapidement, en 30 secondes environ.

On peut rencontrer des hippopotames en plaine et en montagne jusqu'à 2 400 mètres d'altitude, en ville, comme à N'Djaména, et en brousse, dans les estuaires et même en mer (entre la Tanzanie et Zanzibar ou dans les îles Bijagos en Guinée Bissau par exemple).

Quelques noms vernaculaires

Afrikaans : Seekoei
Arabe : Grinki (Tchad), Grimbi (RCA)
Bafia : Gbang
Bakota : N'goubou ou N'zoka
Bamiléké : Nzwenche
Bassa : Ngoubi
Batéké : N'goubou ou Ngo
Boulou, Ewondo : Ngoup
Dioula : Mali

Répartition de l'hippopotame amphibie d'après DORST & DANDELLOT



Les hippopotames sont des animaux bruyants. Ils émettent des plaintes, des souffles, des grognements, des beuglements bovins et des sortes de braiments saccadés. Le cri de rut du mâle est formé de trois notes en série : "muh-muh-muh".

Organisation sociale

Grégaires, les hippopotames forment des bandes, de cinq à quinze individus en moyenne, pouvant atteindre parfois cent et plus comme à la mare de Gatta, dans le parc Manovo Gounda Saint Floris, en RCA. La cellule principale est composée des femelles et des petits. Les mâles adultes gravitent autour des cellules matriarcales ; plus ils sont haut placés dans la hiérarchie, plus ils en sont près et plus ils doi-

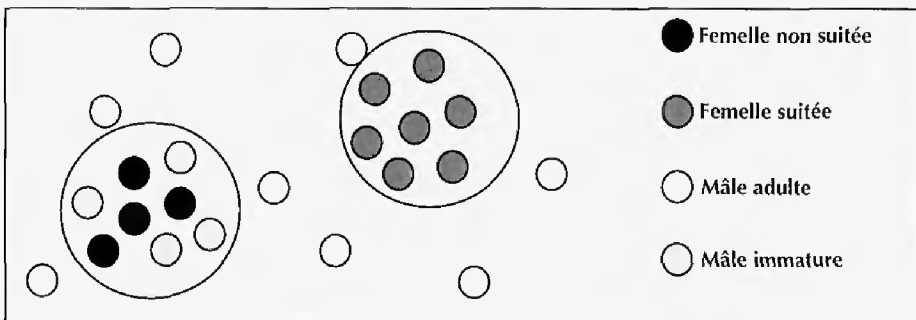
Les hippopotames sont sédentaires dans leur point d'eau. Il existe des territoires dans l'eau et sur la berge. En général, les pâturages sont exploités par tous les individus du groupe, mais certains auteurs signalent l'existence d'un territoire de pâture pour chaque mâle adulte. Le territoire est d'autant plus défendu qu'on se rapproche de son centre qui est constitué par la mare.

Chaque mâle adulte et chaque femelle ayant un jeune de l'année a son propre sentier pour sortir de la mare. Le groupe des femelles non suivées et des subadultes utilise le même sentier. Ces passages usuels forment de véritables tranchées dans la berge. Les sentiers sont bordés de tas d'excréments étalés avec la queue. Ces défécations ont valeur de marques territoriales et constituent une barrière pour les autres animaux du groupe. Notons que, même quand ils défèquent dans l'eau, les hippopotames agitent leur queue pour disperser les fèces.

position des yeux, situés presque sur le sommet du crâne, et le fait que les oreilles et les narines puissent se fermer complètement sont des adaptations à la plongée. La gueule est largement fendue et armée d'incisives et de canines très développées. Le cou est large et court.

La queue est courte (35 à 50 cm de long) et épaisse, elle porte un faible toupillon de poils drus. Les membres sont massifs, ils se terminent par quatre doigts égaux munis d'onglons. Les soles plantaires permettent à l'animal de nager et de se déplacer aisément sur les sols marécageux ou meubles.

ent autour des cellules matriarcales ; plus ils sont haut placés dans la hiérarchie, plus ils en sont près et plus ils doi-



L = 15-20 cm

Empreinte



Antérieure



Postérieure

Le dimorphisme sexuel est assez peu marqué, d'autant plus que les mâles sont cryptorchides (testicules internes). Les femelles sont un peu plus petites et plus légères que les mâles. Ces derniers sont souvent balafrés à la suite des combats.

vent défendre leur place contre les rivaux (voir schéma ci-dessus). Pour certains auteurs, il y aurait un seul mâle qui commanderait le troupeau. Celui-ci conserve sa place en intimidant ses adversaires en baillant. Ce comportement peut précéder un combat très violent, voire mortel, si les prétendants n'adoptent pas l'attitude de soumission

qui consiste à baisser la tête devant le dominant. Les jeunes attendent huit à dix ans pour défier le chef. Certains mâles âgés sont solitaires.

Comportement alimentaire

Les hippopotames s'alimentent la nuit. Après avoir passé la journée à paresser dans l'eau ou à dormir sur les bancs de sable aux heures les moins chaudes, ils quittent la mare au crépuscule pour aller manger et la regagnent à l'aube. Selon certains auteurs, les hippopotames n'abandonnent jamais complètement leur mare la nuit. Ils laissent un guetteur qui beugle de temps en temps pour guider ceux qui sont à terre.

Herbivore à prédominance païsseur¹, l'hippopotame consomme des herbes, mais aussi des branches, des rhizomes, des racines, des fruits comme celui du *Kigelia sp.* (arbre à saucisses), des cul-

¹ Païsseur : herbivore ayant un régime principalement à base de graminées et d'herbacées.

Hippopotames, mère et enfant, Parc National de la Bénoué (Cameroun).
Photo : F. LAMARQUE.



54

tures (rizières notamment) dans lesquelles il peut causer des dégâts importants, rarement des plantes aquatiques.

Les hippopotames paissent avec leurs lèvres. Ils ont plus de facilité à attraper des graminées rampantes (le *Cynodon dactylon* par exemple) et sont capables de paître pratiquement jusqu'au sol. Lors de pâturage répété par les hippopotames, la pâture s'enrichit fréquemment en *Spirobolus pyramidalis*.

Un adulte peut consommer entre 40 et 60 kg de fourrages divers en une nuit et parcourir pour ce faire une trentaine de kilomètres. Cependant, en saison sèche, l'hippopotame peut jeûner pendant plusieurs semaines.

Reproduction

C'est la femelle qui choisit le mâle. Le couple ainsi formé reste uni tant que la femelle n'est pas gravide. L'accouplement qui dure environ 15 minutes a lieu dans l'eau. Par contre, la mise-bas, qui survient après une gestation de 235 jours en moyenne, se déroule sur terre dans un nid rudimentaire formé par une aire piétinée d'environ 10 m² située à l'écart du groupe, ou, beaucoup plus rarement, dans l'eau peu profonde.

À la naissance, le jeune pèse de 35 à 55 kg. La mère l'allaita avec ses deux

mamelles inguinales, d'abord à terre, puis dans l'eau voire sous l'eau, le jeune pouvant rester immergé trois minutes pour téter. La mère doit le protéger contre l'agressivité des mâles. Elle lui apprend à nager et peut le porter sur son dos au début. Le petit nage ensuite au niveau de son épaule. À terre, il marche au niveau de son cou. Le jeune prend son premier repas solide à l'âge de trois semaines. La femelle et son petit rejoignent le groupe quand le jeune a deux mois. Elle continue à prendre soin de lui et, éventuellement d'un ou deux de ses aînés. La lactation dure environ un an. Le lait de l'hippopotame est riche puisque, jusqu'à six mois, le gain moyen quotidien du jeune hippopotame est de 0,5 kg/j. L'âge adulte est atteint à 3-4 ans pour les femelles, 4-5 ans pour les mâles.

La femelle revient en chaleurs 50 jours après la mise-bas et, si elle n'est pas fécondée, tous les quatre mois. Les chaleurs et les mise bas ont donc lieu toute l'année, on note cependant souvent un pic de naissances en saison des pluies. Les femelles donnent naissance à un petit (plus rarement à deux) tous les 18 à 24 mois en moyenne. Le sexe ratio est équilibré à la naissance (1/1).

Prédation, mortalité

L'homme est pratiquement le seul prédateur de l'hippopotame adulte. Car, ce dernier dispose d'organes des

sens performants (ouïe et odorat bons, vue subaquatique suffisante et vue aérienne correcte). De plus, même s'il paraît placide, l'hippopotame n'en reste pas moins un animal redoutable² surtout s'il est blessé, agressé, dérangé ou si l'on s'interpose entre lui et sa mare. Il charge à 45 Km/h, piétine, donne des coups de tête et mord. Les jeunes peuvent cependant être victimes du crocodile ou du lion. Les hippopotames sont très sensibles au charbon.

Valorisation socio-économique, utilisation

L'hippopotame est une espèce peu recherchée par les amateurs de chasse sportive. Il figure cependant sur la liste des espèces chassables de plusieurs pays (Cameroun ou Zimbabwe, par exemple). Dans d'autres pays, comme le Burkina Faso, il est intégralement protégé. Le trophée est la canine inférieure qui peut être mesurée de différentes façons selon que l'on adopte le système du Safari Club International ou celui, plus ancien du Rowland Ward. Le record dans cette dernière catégorie a été obtenu au Congo en 1933 avec une canine de 163,83 cm (racine comprise).

Peu chassé en safari, l'hippopotame est fréquemment abattu dans le cadre de la régulation des animaux dits "à problème" en raison des dégâts qu'il provoque dans les cultures (rizières, bourgoutières...). Il est aussi chassé traditionnellement par certaines ethnies comme les bisa de Zambie, les tonga du Zimbabwe qui utilisent pour ce faire un harpon à tête détachable ou encore les sorko du Niger qui le piègent dans des fosses.

Si la viande de l'hippopotame n'est consommée qu'occasionnellement, en Afrique de l'Ouest notamment, d'autres produits sont plus activement recherchés. C'est le cas de la peau avec laquelle on fabrique des cordes très résistantes en RCA, de la graisse utilisée comme combustible et bien sûr de l'ivoire. La recrudescence du braconnage des hippopotames pour l'ivoire pourrait être une conséquence de l'inscription de l'éléphant en Annexe 1 de

² L'hippopotame est l'animal sauvage qui est responsable du plus grand nombre d'accidents mortels en Afrique.

la CITES, à la fin de l'année 1989. L'ivoire d'hippopotame, légèrement rosé, est en effet assez apprécié en tant que tel, même s'il est loin d'avoir la même valeur que celui de l'éléphant sur le marché international.

Ennemis des cultivateurs, les hippopotames sont des auxiliaires précieux pour les pêcheurs, même s'il présentent parfois un certain danger quand ces derniers s'approchent trop près d'un troupeau. Les hippopotames en dispersant leurs fèces avec leur queue, attirent en effet de nombreux poissons, en particulier des *Labeo*. Le fait qu'ils remuent constamment la vase du fond, contribue de plus à enrichir les eaux en matière organique et à les rendre très poissonneuses.

L'hippopotame est enfin une espèce assez bien valorisée par le tourisme de vision. Impressionnante, diurne et sédentaire, elle offre en effet aux touristes un spectacle garanti et de bonne qualité. Ceci peut rapporter quelques revenus aux populations locales qui s'organisent à cette fin. C'est le cas au Burkina Faso où les hippopotames de la réserve dite de "la Mare aux hippopotames" sont à l'origine d'une petite exploitation touristique gérée par les populations riveraines (les pêcheurs assurent la visite en amenant les touristes voir les hippopotames grâce à une barque en métal).

Conclusion

Animal emblématique des cours d'eau africains, au point d'avoir donné son nom à un pays, le Mali, l'hippopotame a aujourd'hui un statut de plus en plus précaire. Sa survie est menacée par de nombreuses activités humaines. Le braconnage pour l'ivoire est celle qui vient immédiatement à l'esprit. Mais cette pratique est loin d'être la seule cause de diminution des populations d'hippopotames. Le développement des périmètre irrigués et des aménagements hydro-agricoles dans lesquels les hippopotames entrent en compétition avec des intérêts humains, l'assèchement de certaines zones humides pour développer l'agriculture ou encore la construction de barrages hydroélectriques bouleversant le régime des cours d'eau, sont autant de facteurs qui jouent un rôle non négligeable à cet égard.

Bénéficiant d'un capital de sympathie inférieur à celui de l'éléphant, beaucoup moins connu et aimé des médias, l'hippopotame survivra-t-il au troisième millénaire ?

François LAMARQUE
 Direction de la Recherche
 et du Développement
 Office national de la chasse
 Saint Benoît
 78610 - Auffargis
 FRANCE

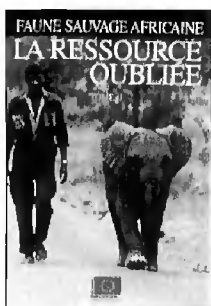


Hippopotame. Parc National de la Bénoué (Cameroun). Photo : F. LAMARQUE.

FAUNE SAUVAGE AFRICAINE

La ressource oubliée

Sous la direction de P. CHARDONNET



Cet ouvrage collectif, publié par la Commission européenne, tente de faire ressortir l'ampleur des lacunes dans la connaissance des rôles divers de la faune sauvage en Afrique et son potentiel considérable bien souvent mal exploité. Le premier tome présente une synthèse, qui à partir du peu d'informations existantes, met en évidence l'importance réelle de cette res-

source sous ses divers aspects : rôle dans la sécurité alimentaire, le développement économique, la conservation de l'ensemble des richesses naturelles, mais aussi le mode de vie de nombreux peuples. Il s'organise en quatre parties : importance de la faune sauvage, utilisation de la faune

sauvage, état de la faune sauvage, institutions et législations. Le deuxième tome présente une monographie de six pays correspondant à des échantillons des grands ensembles habituellement considérés par la Commission des communautés européennes et qui englobent les grandes caractéristiques écologiques et institutionnelles (Burkina faso, Côte d'Ivoire, Centrafrique, Éthiopie, Tanzanie, Zimbabwe). Ce tome montre le décalage entre l'importance réelle de la faune et l'image qu'on en donne habituellement. L'importance alimentaire, économique, écologique et culturelle est mise en évidence dans chacun de ces pays.

1995. tome I, 416 p., tome II, 288 p., 425 FF voie maritime ou 465 FF voie aérienne (port payé pour les deux tomes).

CIRAD EMVT Service édition
 BP 5035 - 34032 Montpellier, FRANCE.
IGF, 15 rue de Téhéran,
 75008 Paris, FRANCE.

