



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

Papers downloaded from AgEcon Search may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Une modélisation de l'offre et de la demande de bois bruts

*L. LÖNNSTEDT
J.-L. PEYRON*

L'équilibre entre l'offre et la demande de bois brut est depuis longtemps un sujet d'intérêt privilégié dont les aspects méthodologiques méritent d'être approfondis. La longueur des révolutions propres à la plupart des espèces forestières est un élément important dans la recherche de cet équilibre. Il ne s'agit pas seulement de réaliser une adéquation globale et quantitative entre l'offre et la demande ; il est aussi nécessaire de prendre en compte les diverses qualités de bois brut (espèces, assortiments) et les prix auxquels elles sont livrées aux industries de première transformation ou à la consommation finale. Cet aspect suppose que le raisonnement porte sur des catégories de bois brut aussi homogènes que possible.

Dans ce contexte général, la situation française est particulière et propice à des investigations relatives au marché des bois ronds. Sur le plan intérieur tout d'abord, les ressources forestières se développent rapidement, ce qui pose le problème de l'évolution parallèle de leur niveau d'exploitation et de l'adaptation de l'industrie à de tels changements. Sur le plan international ensuite, certains pays frappés par le déclin voient leurs ressources stagner, voire diminuer, tandis que d'autres (Nouvelle-Zélande, Chili, Afrique du Sud, Brésil, Portugal) commencent à récolter les fruits d'une politique active de reboisement. Même si l'Europe des Douze reste largement déficitaire en matière de bois brut (Buttoud, 1987 ; Ottolenghi et Volpe, 1987), le contexte international est ainsi également en mouvement.

Certains de ces problèmes peuvent être synthétisés de la façon suivante :

- Quelle est et sera la ressource brute disponible pour les industries du bois et les utilisations finales ?
- A quelles conditions ces disponibilités forestières seront-elles effectivement mobilisées ?

La réponse à ces questions requiert l'utilisation d'outils ou de modèles appropriés, simulant par exemple le fonctionnement du secteur forestier dans différentes situations et sous plusieurs stratégies. Les situations sont caractérisées principalement par le développement économique futur. Les stratégies, quant à elles, s'appuient sur des mesures simulant l'activité économique et l'investissement industriel.

Cela dit, même si elles dissocient le marché des bois ronds en ses deux composantes (offre et demande), il n'en reste pas moins que les deux questions précédentes constituent les deux volets d'une même approche.

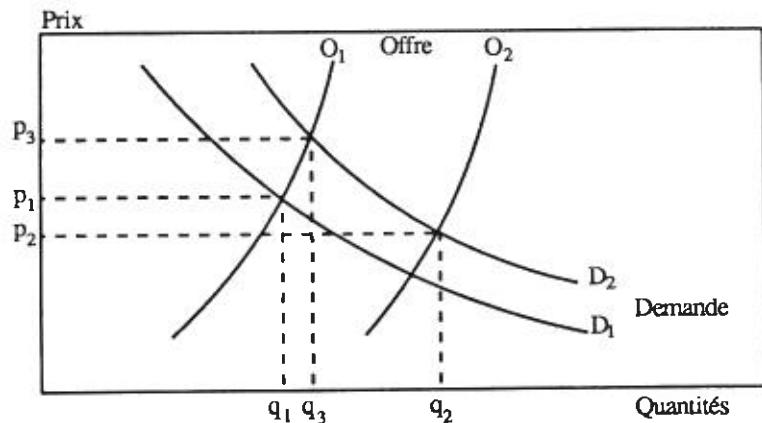
LA MODÉLISATION DU MARCHÉ DES BOIS RONDS

Pour apprécier les approches liées à la modélisation du marché des bois ronds, il faut examiner à la fois les éléments de théorie économique qui en sont les fondements et les méthodes utilisées.

Les bases néo-classiques

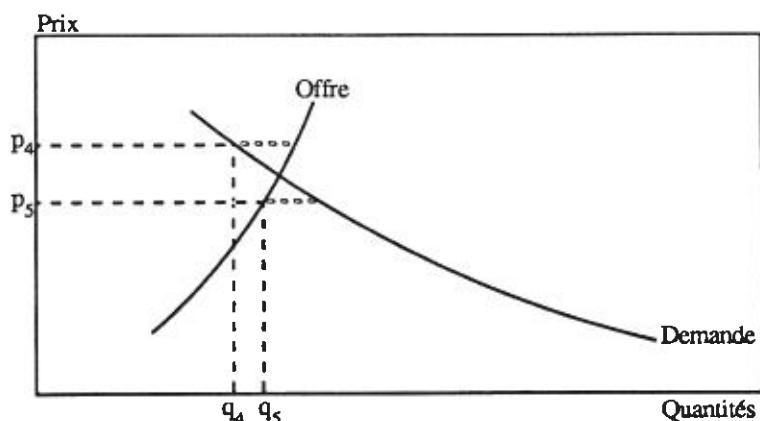
En économie néo-classique, le marché d'un produit donné est représenté par des courbes d'offre et de demande dans l'espace des prix et des quantités (fig. 1). Un équilibre s'établit à l'intersection des courbes d'offre et de demande. Dans la situation 1, la quantité q_1 sera échangée sur le marché au prix p_1 .

Figure 1.
Équilibre de
l'offre et
de la demande



Ces courbes d'offre et de demande ne sont pas immuables. Elles évoluent sous l'effet de divers facteurs comme le marché international ou encore les conditions de production. Par exemple, l'arrivée sur le marché de grandes quantités de bois à la suite d'une tempête transformera l'offre de bois de la courbe O_1 en la courbe O_2 . Parallèlement, la mise en place d'un dispositif particulier pour écouler rapidement les bois renversés est susceptible de déplacer la demande de la courbe D_1 à la courbe D_2 . Un nouvel équilibre est ainsi provisoirement trouvé pour une quantité q_2 échangée à un prix p_2 . Il convient de remarquer que si q_2 est forcément supérieur à q_1 , suivant le cas, p_2 pourra être inférieur ou supérieur à p_1 .

Figure 2.
Recherche
perpétuelle
de l'équilibre



Lorsque les bois abattus par la tempête auront été vendus, il n'est pas impossible que l'offre retrouve progressivement sa situation initiale O_1 et

que les nouveaux débouchés suscités perdurent sur D_2 pour conduire à l'échange d'une quantité q_3 à un prix p_3 . Dans ce cas, en modifiant à long terme la demande, la tempête aurait une répercussion notable sur le prix des bois.

Cependant, on sait aussi que la concurrence pure et parfaite n'existe pas. Cette réalité peut être prise en compte (voir notamment Lönnstedt, 1986) en considérant que l'offre et la demande essaient perpétuellement de s'équilibrer sans jamais y parvenir, en raison notamment des délais de communication de l'information et des évolutions technologiques ou commerciales. Cette situation est décrite par la figure 2 qui montre que, suivant le prix du marché (p_4 ou p_5), les quantités échangées seront les quantités demandées (q_4) ou offertes (q_5). C'est cette solution qui a été choisie dans l'approche présentée ici.

Les techniques de modélisation

Des modèles de secteur forestier ont été développés dans plusieurs parties du monde, notamment en Amérique du Nord, en Scandinavie et dans le cadre d'organismes internationaux comme l'Institut international d'analyse appliquée des systèmes (IIASA, Laxenburg, Autriche). Ces modèles recourent essentiellement à deux méthodes principales, la programmation mathématique (linéaire et non linéaire) et la simulation en temps continu. La programmation mathématique a été utilisée par exemple par Haynes et Adams (1981), Gilless et Buongiorno (1986) ou Dykstra et Kallio (1987). La simulation continue, quant à elle, a été employée en particulier par Randers et Lönnstedt (1979) (pour le tout premier modèle du secteur forestier), Kuuluvainen *et al.* (1981), Lönnstedt (1986).

La programmation mathématique répond à des questions du type : à quelles conditions tel objectif sera-t-il atteint ? Elle suppose d'une part que cet objectif soit réellement celui qui est poursuivi par les agents, d'autre part que le problème puisse être résolu mathématiquement, ce qui n'est pas toujours le cas. Aussi certains systèmes, qui ne sont pas adaptés à un traitement par des méthodes analytiques traditionnelles, peuvent faire l'objet de simulations parce que celles-ci ne requièrent pas la résolution d'un problème mathématique complexe. C'est pourquoi cette technique a été adoptée ici.

Au lieu de chercher une solution normative au comportement du système, la simulation s'attache à décrire le monde réel de la meilleure façon possible avant de répondre à des questions comme : que se passera-t-il si... ? La démarche est ainsi fondée sur un mélange d'éléments théoriques, empiriques, logiques et heuristiques. En dépit de ce caractère non normatif, il est envisageable d'identifier les réactions les plus favorables du système en répétant les simulations pour diverses valeurs des paramètres. Cependant, il ne sera pas toujours possible d'agir sur ces derniers dans le monde réel, si bien que la possibilité de contrôler le système est souvent faible.

Les modèles de simulation sont structuraux dans le sens où ils détaillent la structure du système étudié. Ils restent cependant agrégés : les indi-

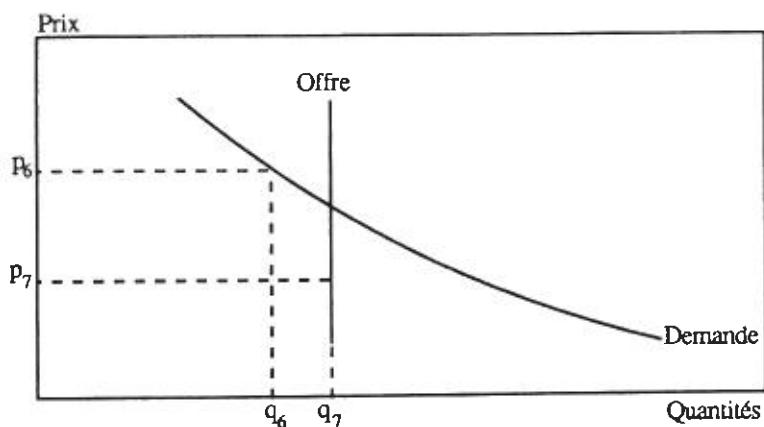
vidus sont rarement traités de façon dissociée, mais plutôt collective. Ils utilisent des variables représentant des flux continus. Ils décrivent un développement d'une manière déterministe fondée sur les valeurs initiales des variables, les règles internes et les données exogènes. Enfin, les relations entre variables sont souvent non-linéaires.

Particularités de l'approche adoptée

Nous considérons donc ici que la concurrence est imparfaite et que cette situation peut être aisément modélisée en utilisant les techniques de simulation en temps continu. La représentation des courbes d'offre et de demande mérite cependant quelques commentaires.

La courbe d'offre de bois rond est souvent mal connue et aucune approche n'a à ce jour été réalisée en France dans ce domaine. Elle est en général considérée comme étant très inélastique. Une simplification importante peut être introduite en la réduisant à une quantité offerte quel que soit le prix proposé (figure 3). Elle s'apparente alors à ce qu'on appelle la ressource forestière disponible dont l'évaluation repose sur des critères essentiellement techniques (sylviculture, accessibilité).

Figure 3.
Recherche perpétuelle de l'équilibre avec une offre inélastique



Quant à la courbe de demande, elle est représentée indirectement à partir de la situation du marché des produits et du commerce entre le pays ou la région d'étude et le reste du monde. En effet, les quantités offertes sur le marché des produits sont liées aux quantités demandées sur le marché des bois ronds par l'intermédiaire du rendement-matière. De même, le prix des produits correspond par des relations comptables à celui des bois ronds acquis.

Finalement, l'approche du marché des bois ronds peut être scindée en deux :

- analyse de l'offre de bois, c'est-à-dire de la ressource disponible d'une part,
- analyse de la demande de bois en fonction du marché des produits d'autre part.

Lorsque ces deux analyses sont considérées isolément, il suffit à l'utilisateur de fournir au modèle de façon exogène les éléments relatifs à la demande dans le premier cas, à l'offre dans le second. Les relier consiste à rendre ces éléments endogènes.

GESTION FORESTIÈRE ET OFFRE DE BOIS

Si l'on veut analyser la ressource forestière disponible en France, à la fois dans le présent et dans le futur, et tester les conséquences de divers niveaux de demande de grumes ou rondins feuillus ou résineux et de différentes conditions sylvicoles, il est nécessaire d'obtenir des résultats détaillés par zones et catégories de propriétés. De même, les types de peuplement doivent être distingués pour une simulation adéquate de la croissance forestière.

L'horizon de temps considéré est de 20 à 30 ans. Une telle période est en effet compatible avec l'hypothèse selon laquelle les surfaces allouées aux divers types de peuplement sont constantes au cours du temps. Si cela n'était pas le cas, l'effet d'une variation de ces surfaces se répercuterait à la fois sur le volume sur pied et la récolte. Il peut être noté qu'au-delà de 20 à 30 années, la gestion et la productivité des peuplements sont susceptibles d'être modifiées d'une façon difficilement prévisible. Enfin, un tel horizon de 20 à 30 ans convient parfaitement à la liaison entre un modèle forestier et un modèle industriel.

Principes généraux

Stades de croissance

Les arbres ou les peuplements sont classés en stades, de telle sorte que leur croissance puisse être représentée par les probabilités de transition d'un stade à l'autre. Selon l'Inventaire forestier national français, 61 % des peuplements ont une structure locale équienne ou quasi équienne et 39 % sont à structure irrégulière ou jardinée. Les premiers sont rangés en classes d'âge. Pour les forêts inéquienches, les stades de croissance s'appliquent non plus aux peuplements mais aux arbres. C'est pourquoi la meilleure représentation passe alors par des classes de diamètre. Ainsi deux modèles différents sont utilisés. Ils seront décrits plus loin après quelques définitions et notions générales.

Définition des domaines d'étude

Il est nécessaire de raisonner sur des domaines relativement homogènes. Les critères utilisés pour les définir et les décrire sont donnés dans le tableau 1. En distinguant plusieurs régions, on peut prendre en compte la variété des conditions de croissance des différentes parties de la France (par exemple : Nord-Est, Nord-Ouest et Sud). Ceci autorisera également

par la suite la comparaison entre l'offre et la demande de bois ronds pour chacune des régions. Les forêts de l'Etat, des collectivités et des particuliers méritent d'être considérées séparément en raison de leurs caractéristiques et de leur gestion propres. Les types de peuplement sont définis par leur structure (futaie régulière, taillis, futaie irrégulière, mélange futaie-taillis), et leur essence prépondérante (chêne, hêtre, châtaignier, autres feuillus, pin maritime, autres pins, sapin-épicéa, autres résineux). Dans un souci de simplicité, les essences présentes à l'intérieur de chaque type de peuplement sont regroupées en feuillus et résineux.

Tableau 1
Définition et description
des domaines d'étude

	Critères utilisés	Unités sur lesquelles sont jugés les critères
<i>Pour définir les domaines :</i>		
région		peuplement
catégorie de propriété		peuplement
structure		peuplement
essence prépondérante		peuplement
<i>Pour décrire les domaines équiennois :</i>		
classe d'âge		peuplement
essence		arbres
assortiment		parties d'arbres
<i>Pour définir les domaines inéquiennois :</i>		
essence		arbres
classe de diamètre		arbres
assortiment		parties d'arbres

Finalement, chaque domaine doit avoir une taille suffisante pour la validation de relations statistiques et l'obtention de résultats précis. Au niveau du type de peuplement, une superficie de 50 000 hectares correspond à plus de 500 placettes de l'Inventaire forestier national et peut être choisie comme plancher. Certains types de peuplement doivent donc être agrégés.

Détermination des disponibilités

La ressource disponible est la somme de deux termes. L'un d'eux représente le volume des coupes d'amélioration, et l'autre celui des coupes de régénération. Le premier est une fraction de l'accroissement en volume, par exemple 50 %. La définition du second terme dépend de la structure forestière. Pour les forêts équiennoises, c'est une fraction du volume des vieux peuplements qui est prise en compte (la définition des vieux peuplements est propre à chaque domaine). Pour les forêts inéquiennoises, c'est une fraction du volume des gros arbres. Dans les deux cas, les fractions sont déterminées à partir du temps de croissance entre deux âges ou deux diamètres (minimal/maximal).

Prise en compte de la demande

La modélisation de la croissance forestière nécessite la prise en compte des prélevements qui viennent modifier l'état de la forêt. Comme nous l'avons vu précédemment, l'ampleur de ces prélevements résulte de la confrontation de l'offre et de la demande sur le marché des bois ronds. Si la ressource disponible permet d'apprécier l'offre, la demande doit être introduite de façon soit exogène à partir de prévisions d'experts par exemple, soit endogène par le biais d'une modélisation.

Exogène ou endogène, cette demande est fournie avec les distributions suivantes : feuillus/résineux d'une part, grumes/rondins d'autre part. Les grumes sont destinées au sciage et au placage, les rondins à la trituration (pâte, panneaux) et à la production d'énergie. Les quantités demandées sont réparties par domaines selon une récolte de référence fondée sur la sylviculture actuelle, c'est-à-dire selon la relation suivante :

$$D_{hij} = D_{ij} \times QR_{hij} / QR_{ij}$$

où D est la demande de bois ronds

QR est la récolte de référence

h s'applique au domaine considéré (région, propriété, structure, essence prépondérante)

i s'applique à l'essence des arbres (feuillus/résineux)

j s'applique à l'assortiment (grumes/rondins).

On suppose ainsi que lorsque la demande globale varie, la variation relative est exactement la même dans chaque domaine.

Le modèle équienne

Classes d'âge

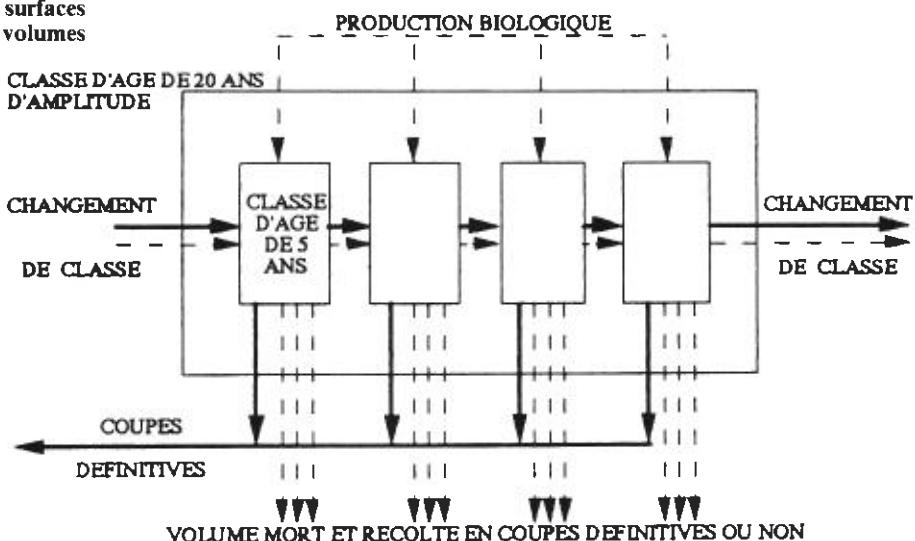
Pour la futaie régulière et le taillis simple, c'est un modèle fondé sur les classes d'âge qui permet de représenter la dynamique de la croissance forestière. Pour la futaie régulière, 12 classes de 20 ans d'amplitude de 0 à 239 ans sont utilisées. La 13^e classe contient les peuplements d'âge supérieur ou égal à 240 ans. Pour le taillis simple, seules 4 classes de 20 ans ont été distinguées entre 0 et 80 ans. La 5^e classe contient les peuplements d'âge supérieur ou égal à 80 ans.

L'évolution à l'intérieur de chaque classe de 20 ans est calculée dans le modèle pour les surfaces et pour les volumes sur pied. Ces deux approches sont intimement liées l'une à l'autre.

Modélisation des flux de surface

Chaque classe d'âge d'amplitude 20 ans est décomposée en 4 classes d'âge d'amplitude 5 ans. Tous les 5 ans, la surface d'une classe est transférée vers la classe suivante. La surface de la 4^e classe de 5 ans transite vers la 1^e classe de 5 ans appartenant à la classe suivante de 20 ans d'amplitude (fig. 4).

Figure 4
Flux des surfaces
et des volumes



Surfaces : flèches ou traits gras et pleins ; volumes : flèches en tirets maigres

A ce flux lié à l'âge, s'en ajoute un autre lié aux coupes. Dans le modèle, la récolte effective de bois d'œuvre et de bois de trituration ou de feu est répartie entre les classes selon une distribution type et le volume sur pied présent dans chaque classe. Pour chaque qualité et chaque classe, le volume des coupes définitives est calculé en fonction de la récolte totale de la classe. A l'intérieur de chaque classe de 20 ans d'amplitude, il est réparti à égalité entre les 4 classes de 5 ans d'amplitude. La surface correspondante est calculée en divisant ce volume par le volume moyen sur pied dans la classe de 5 ans considérée. Seules les coupes définitives agissent sur l'affectation des surfaces.

La première classe et la dernière classe d'amplitude 20 ans sont traitées partiellement de façon spécifique. Par exemple, de la toute dernière classe de 5 ans d'amplitude ne sort aucun flux lié à l'âge. Seules les surfaces faisant l'objet d'une coupe définitive quittent cette classe. Le flux de surface entrant dans la 1^e classe de 5 ans d'amplitude appartenant à la 1^e classe de 20 ans d'amplitude est la somme des surfaces faisant l'objet d'une coupe définitive.

Le principe conduit ainsi à calculer la surface de chaque classe d'âge par l'équation suivante :

$$A_k(t) = A_k(t-1) + \int_{t-1}^t [AE_k(u) - AS_k(u) - AC_k(u)]$$

où A : surface forestière

AE : surface entrant dans la classe (ou, pour la 1^e classe, surface passée en coupe définitive)

AS : surface sortant de la classe

AC : surface faisant l'objet d'une coupe définitive

k est relatif à une classe d'âge

t,u désignent le temps.

Modélisation des flux en volume

L'évolution du volume sur pied de chaque classe d'âge dépend directement de l'évolution de la surface, puisque lorsqu'une surface boisée quitte une classe d'âge, son volume sur pied fait évidemment de même (fig. 4). Ce volume sur pied quittant une classe d'âge est alors estimé par la surface quittant cette classe multipliée par le volume moyen de la classe d'âge considérée :

$$VS_k(t) = AS_k(t) \times VM(t)$$

où *VS* : volume sortant de la classe d'âge

VM : volume moyen à l'hectare de la classe d'âge.

Au volume sur pied quittant une classe d'âge *k* pour la classe *k+1* suivante, on ajoute la production en volume des 5 dernières années, dont la valeur par unité de surface est une caractéristique fixe de chaque classe d'âge en application de la loi dite de Eichorn. Une réfaction est également faite pour la mortalité selon un taux fixé.

En outre, le volume sur pied dans une classe d'âge spécifique est diminué du volume récolté, c'est-à-dire des éclaircies et des coupes définitives. Ce volume réalisé en coupe définitive affecte le flux des surfaces (voir plus haut).

Dans le modèle, l'évolution du volume des 20 premières années de la vie des peuplements n'est pas calculée. Le volume est introduit simplement à l'occasion des transitions entre la 1^e et la 2^e classe de 20 ans d'amplitude. Il est déterminé au moyen d'une extrapolation polynomiale de degré 2 et à partir des volumes moyens initiaux des 2^e et 3^e classes d'amplitude.

Enfin, le volume de bois d'œuvre récolté est calculé comme étant une fraction du volume total récolté dans chaque classe.

Le modèle inéquienne

Evolution de la distribution des diamètres

Considérons les arbres appartenant au temps *t* à une classe *k* donnée. Entre les instants *t* et *t+1*, certains d'entre eux seront coupés, d'autres mourront. Parmi les arbres restants, certains passeront dans le stade suivant, et les autres resteront dans la même classe. Soit *I_k* l'accroissement moyen en diamètre de la classe *k*, exprimé en mm/an. Un arbre met en moyenne *T_k* = 50/*I_k* années pour traverser une classe d'amplitude 50 mm. Si nous supposons que tous les arbres poussent à la même vitesse, la simulation exacte consisterait à transférer vers la classe suivante les arbres

encore vivants qui sont entrés dans la classe T_k années plus tôt. Mais cette solution serait lourde et difficile à implanter parce qu'elle nécessiterait en fait de considérer des "classes annuelles de diamètres". Elle interdirait en outre pratiquement de prendre en compte les variations de l'accroissement en diamètre qui réagit à l'intensité des coupes (voir plus loin les mécanismes régulateurs). C'est pourquoi le problème a été résolu en construisant fictivement une structure polynomiale à l'intérieur de chaque classe de diamètre. Le polynôme est de degré 2 et estimé à partir des nombres de tiges totaux N_{k-1} (ou N_k pour la première classe), N_k , et N_{k+1} (ou N_k pour la dernière classe). La mortalité est déduite de taux de mortalité spécifiques à chaque classe. La récolte effective est prélevée sur la base d'une récolte de référence comme cela a déjà été exposé.

Le modèle est fondé sur le nombre de tiges dans chaque classe de diamètre de la classe 10 (7,50 à 12,49 cm) à la classe 60⁺ (57,50 cm et au-delà). Le nombre de tiges dans la première classe de diamètre dépend du recrutement annuel qui représente avec retard la régénération. La conversion des nombres d'arbres en volume est effectuée à l'aide de volumes individuels moyens supposés constants au cours du temps et identiques pour tous les arbres (coupés, morts ou encore sur pied) dans chaque classe de diamètre.

Mécanismes régulateurs

Dans le modèle équienne, pour chaque classe d'âge, la production en volume par unité de surface était fixe et jouait ainsi un rôle régulateur. La structure inéquienne ne permet pas d'utiliser une telle notion. Il convient donc de rechercher d'autres mécanismes de régulation.

Des paramètres comme le recrutement, les accroissements en diamètre et les taux de mortalité ne sont pas constants mais dépendent normalement de l'état de la forêt. Par exemple, de forts prélevements de gros bois induisent une régénération et un recrutement accrus. De la même manière, une sylviculture intensive stimule la croissance (accroissement en diamètre) et diminue les phénomènes de mortalité. Les relations suivantes peuvent donc être utilisées :

$$R = f_1(N35^-, N40^+)$$

$$I_k = f_2(G, DBH_k)$$

$$TM_k = f_3(G, DNH_k)$$

où R : recrutement

TM : taux de mortalité

$N35^-$: nombre de tiges des classes 10 à 35

$N40^+$: nombre de tiges des classes 40 et au-delà

G : surface terrière globale

DBH : diamètre à hauteur de poitrine

I : accroissement en diamètre.

Plus précisément, les fonctions f_1 et f_2 sont supposées pouvoir être mises sous une forme linéaire :

$$R = a \cdot N35^- - b \cdot N40^+$$

$$I_k = -c \cdot DBH_k \cdot G + d \cdot DBH_k + e$$

où a, b, c, d, e sont des coefficients positifs.

Le coefficient a exprime une certaine continuité dans la gestion, b la liaison entre la récolte de gros bois et la régénération, c la réduction de l'accroissement en diamètre lorsqu'augmente le volume sur pied, d et e la limite supérieure de l'accroissement en diamètre ; ce plafond dépend de la classe considérée, ce qu'exprime d .

Par exemple, pour le chêne dans le Nord-Est de la France, de telles relations ont été estimées à partir de l'Inventaire forestier national pour 16 départements divisés en 3 catégories de propriété. Les résultats correspondent aux valeurs (et écarts-types) suivants :

$$\begin{aligned} a &= 0,020 (0,001) & b &= 0,033 (0,007) & R^2 &= 0,94 \\ c &= 1,144 (0,105) & d &= 17,07 (1,28) & e &= 1,854 (0,398) & R^2 &= 0,74 \end{aligned}$$

Une troisième solution relative au taux de mortalité n'a pas été estimée pour l'instant en raison de la mauvaise qualité des données.

En conclusion, on doit souligner qu'à partir d'un état donné ou calculé de la forêt à un moment déterminé, le calcul de l'offre de bois brut ne fait intervenir ni coûts de production, ni prix de vente : il se fonde ainsi sur des données qui sont entièrement physiques et biologiques.

Cependant, pour la modélisation de la croissance forestière, au contraire d'autres modèles qui ont été développés dans le même but et qui supposent que la récolte est égale à la ressource disponible, il distingue clairement ces deux notions, la première étant le résultat de la confrontation entre la seconde et la demande de bois brut.

LES INDUSTRIES DU BOIS ET LA DEMANDE DE BOIS BRUT

Dans une conjoncture caractérisée, comme en France aujourd'hui, par une certaine abondance des ressources forestières, comment encourager la mobilisation des bois effectivement disponibles ? Si aucune politique économique active n'est mise en place, une forte offre de bois ronds entraînera une réduction des prix correspondants qui stimulera à son tour la demande. Mais une réelle stratégie peut au contraire être élaborée et fondée sur une diminution des charges pesant sur les entreprises, ou une stimulation des investissements. On pourrait également rechercher des débouchés extérieurs pour le bois rond, mais cela ne serait acceptable qu'à titre temporaire ; c'est pourquoi seules les autres possibilités ont été testées.

Le modèle a été appliqué au cas de la Bourgogne où l'industrie papetière est inexistante et où l'industrie des panneaux est représentée par trop peu d'entreprises pour être correctement modélisée. Mais la démarche est bien sûr applicable dans son principe à des cas plus généraux.

Principes

Les grandes lignes du module industriel du modèle Fibre utilisé ici (Lönnstedt, Peyron, 1989) sont présentées dans le tableau 2.

Le contexte est décrit par des hypothèses relatives au niveau de la demande de produits en bois, à l'évolution de leur prix, à la variation des coûts d'exploitation, de transport et de transformation, ainsi qu'au développement de la productivité du travail qui est reliée principalement aux progrès technologiques.

Tableau 2.
Principales quantités
endogènes et exogènes
utilisées

Variables endogènes principales	Variables endogènes dont sont issues les précédentes	Variables exogènes et paramètres utilisés
Capacité de production	Capacité précédente Profit brut Investissement	Durée de vie des équipements Demande de produits Productivité du travail (a) Coût de la main-d'œuvre (a)
Profit brut	Production physique Achats de bois ronds	Prix des produits Rendement matière Coefficient de recyclage Coût de la main-d'œuvre Productivité du travail Autres coûts
Investissement	Profit brut Profit brut (b) Capacité de production	Taux d'intérêt Demande de produits
Production physique	Capacité de production	Rendement-matière Facteur de sur-utilisation Offre potentielle de bois ronds

(a) dans la production d'équipement pour les scieries

(b) relatif aux installations nouvelles

Capacité de production

La capacité de production initiale est définie empiriquement à partir de la production effective des années précédentes. Elle peut être dépassée dans des circonstances exceptionnelles où la demande est telle qu'elle exige une sur-utilisation des équipements. Cette capacité varie dans le temps au gré des fermetures d'équipements anciens, des créations d'installations nouvelles ou des extensions d'installations existantes. Les fermetures sont fonction de la durée de vie des équipements. Cette période est plus longue que sa valeur de référence lorsque la conjoncture est bonne parce que certains équipements anciens continuent à dégager des profits, et plus courte dans le cas inverse. La nouvelle capacité de production couvre d'une part le remplacement des équipements obsolètes, d'autre

part l'expansion de l'activité. Elle dépend du développement de la demande de produits et des ressources financières disponibles pour l'investissement. Celles-ci sont générées soit par l'activité elle-même, soit par un apport de nouveaux capitaux. Ces mécanismes sont représentés dans le modèle de la façon suivante :

$$C(t) = C(t-1) + \int_{t-1}^t (CN(u) - CO(u)) du$$

$$CO(t) = C(t)/DV(t)$$

$$DV(t) = DV_o \cdot g(P(t-))$$

$$CN(t) = CN_1(t) + \min(CN_o(t), F(t-)/CI(t-))$$

$$CN_o(t) = C(t-). (TD(t-) + I/DV_o)$$

où C : capacité de production

CN : capacité de production nouvelle

CO : capacité de production obsolète

DV : durée de vie des équipements

DV_o : durée de vie de référence

P : profit dégagé par l'activité

CN_o : capacité nouvelle résultant d'une expansion normale

CN_1 : capacité nouvelle induite par l'apport de nouveaux capitaux

F : financement généré par l'activité et disponible pour l'investissement

CI : coût d'investissement par unité de capacité de production

TD : taux annuel d'accroissement de la demande de produits

$t-$ indique une variable retardée

g est une fonction.

Le coût d'investissement est supposé contenir principalement de la main-d'œuvre directe et indirecte ; il est calculé à partir du coût horaire de la main-d'œuvre et de la productivité du travail dans l'industrie mécanique.

La démarche adoptée ici s'apparente à l'hypothèse keynésienne selon laquelle l'investissement est déterminé par la demande anticipée. Elle en diffère cependant sur deux points : d'une part, l'accroissement de la demande est pris en compte, mais selon un taux antérieur ; d'autre part, l'investissement n'a lieu que dans les limites des possibilités de financement.

Profit et coût de production

La production industrielle comprend des produits principaux et connexes. Le revenu correspondant couvre tout d'abord les achats de bois ronds, ensuite les frais de personnel, enfin des coûts divers comprenant l'énergie. La différence entre la production et les coûts de production est définie comme étant un profit brut. Les coûts divers sont exogènes. Les frais de personnel sont calculés à partir du coût de la main-d'œuvre, de la

productivité du travail, tous deux exogènes, et de la production physique. L'équation correspondante est utilisée tant pour calculer le profit brut lorsque tous les coûts sont connus, que pour calculer le montant disponible pour l'acquisition de bois ronds lorsqu'un profit minimal est exigé.

Financement

L'industrie considérée se finance tout d'abord avec le profit brut précédent, mais aussi avec les autres ressources financières que sont les emprunts, les obligations, les actions, les produits financiers et les subventions. La possibilité d'emprunter de l'argent dépend de la rentabilité des opportunités d'investissement et du taux d'intérêt. Les emplois qui peuvent être distingués sont : les impôts, les dividendes, les frais financiers, les remboursements d'emprunts, les investissements en capacité ou en propriété. Le solde constitue la variation du fonds de roulement. Les impôts, dividendes et frais financiers représentent une fraction du profit brut. La part des investissements utilisés dans le cadre de l'activité considérée dépend de l'écart existant entre la demande de produits et la capacité de production. Les relations relatives à cette partie du modèle sont relativement délicates à établir.

Les flux physiques

On fait l'hypothèse que l'industrie peut produire jusqu'à $(1 + x)$ fois sa capacité de production. Cette production potentielle et le rendement-matière définissent la demande potentielle de bois ronds. Cette dernière est comparée à l'offre potentielle correspondante sur le marché des bois ronds comme cela a déjà été exposé plus haut à propos de la modélisation du marché des bois ronds.

Le système tente constamment d'équilibrer l'offre et la demande potentielles, mais n'y parvient jamais en raison des délais de circulation de l'information. Ainsi, la récolte réelle est-elle identifiée au minimum entre la demande potentielle et l'offre potentielle, en tenant compte de façon exogène des échanges de bois ronds entre la zone étudiée et le reste du monde.

L'offre potentielle de produits industriels est comparée à la demande exogène correspondante. Pour la même raison que précédemment, la production physique effective est prise également au minimum entre l'offre et la demande.

Les mécanismes ainsi décrits peuvent être exprimés par les relations suivantes :

$$D_r(t) = (1 + x) \cdot C(t) / m$$

$$Q_r(t) = \min(D_r(t) + X_r(t) - M_r(t), S_r(t))$$

$$S_p(t) = (Q_r(t) - X_r(t) + M_r(t)) / m$$

$$Q_p(t) = \min(D_p(t), S_p(t))$$

où D : demande potentielle
 S : offre potentielle
 C : capacité de production
 Q : quantité effectivement produite ou récoltée
 X : exportations
 M : importations
 x : coefficient de sur-utilisation
 m : rendement-matière
 r concerne le marché des bois ronds
 p concerne le marché des produits.

Ces flux synthétisent ainsi les liens existant entre la production et la récolte de bois brut.

Résultats

Le modèle a été utilisé pour analyser l'industrie bourguignonne du sciage. Les simulations montrent clairement que le développement futur de la capacité de production dépend largement de l'évolution de la demande. S'il se produit un accroissement marqué de la demande de sciages feuillus, il est probable que les ressources forestières correspondantes seront exploitées à un niveau optimal. Les résultats sont différents pour les résineux. En effet, la capacité initiale de production est trop faible pour qu'un développement endogène soit possible. C'est pourquoi une augmentation de la consommation des résineux locaux dépend de la recherche de nouveaux débouchés pour les bois bourguignons. A partir de prévisions d'experts relatives à la demande future de sciages, l'utilisation du modèle a abouti ainsi à la conclusion que l'implantation de nouvelles scieries était nécessaire jusqu'à concurrence d'une capacité de production d'environ 100 000 m³ entre 1985 et l'an 2000.

CONCLUSION

Dans cette approche, ont été présentés deux volets complémentaires permettant d'apprécier l'état actuel et l'évolution future du marché des bois bruts*. Tout d'abord, une analyse de l'offre de bois ronds, fondée sur la notion de ressources forestières disponibles ; elle utilise divers scénarios de développement de la demande de bois brut, c'est-à-dire relatifs au second volet ; elle peut également permettre d'observer les conséquences d'une évolution sylvicole. Ensuite, une analyse de la demande de bois brut par les industries ; dans ce cas, les scénarios envisageables concernent la demande de produits, les conditions de transformation, enfin l'offre de bois brut, c'est-à-dire le premier volet.

Dans l'un et l'autre cas, le volet complémentaire est donc pris en compte. Cette remarque est particulièrement importante lorsqu'on ana-

* Les recherches ayant conduit à cet article ont été soutenues par les ministères respectivement chargés de la Forêt et de la Recherche.

lyse les diverses possibilités d'évolution des ressources forestières. En effet, les projections relatives aux disponibilités forestières et au volume sur pied sont souvent réalisées en supposant que les premières sont retirées au second année après année. Au contraire, la méthode retenue ici distingue clairement la ressource disponible de la récolte effective. La première donne essentiellement une idée du potentiel des forêts et détermine l'offre de bois. La seconde reflète le résultat du marché, après confrontation de l'offre à la demande. Elle seule est mobilisée.

Décris ici séparément pour la commodité de l'exposé, ces deux modèles peuvent être combinés. Le volet complémentaire d'un volet donné cesse alors d'être traité de façon exogène pour devenir endogène.

Cette approche n'est pas définitive. Des améliorations sont en effet souhaitables dans plusieurs domaines. En particulier, le fonctionnement des marchés mériterait d'être décrit de façon plus fine en introduisant les prix dans l'expression de l'offre de bois et en faisant ressortir les possibilités de substitution entre les différents assortiments (grumes et rondins). Ensuite, la façon dont la récolte déterminée globalement est répartie entre les multiples régions, catégories de propriétés, types de peuplement, voire stades de croissance, est actuellement très sommaire ; par exemple, une augmentation de cette récolte globale se traduit par une augmentation relative identique dans chaque sous-domaine, ce qui n'est pas forcément le cas dans la réalité. Enfin, l'effort doit être poursuivi et testé sur divers cas réels. Les deux modèles méritent ainsi d'être appliqués à l'ensemble de la France de même qu'à plusieurs régions.

BIBLIOGRAPHIE

- BALLEYDIER (R.) BERTRAND (J.), 1982 — La ressource forestière et sa disponibilité : une approche par l'utilisation de l'Inventaire Forestier National, *Forêt méditerranéenne*, pp. 25-32 et pp. 115-121.
- BRAUNSCHWEIG (B.), 1985 — *La simulation sur micro-ordinateur ; les modèles de dynamique des systèmes*, Paris, Eyrolles, 169 p.
- BUTTOUD (G.), 1987 — What should we think of the European dependence on wood and wood-based products ? in : *Forest industry in the EEC during the eighties*, FAST occasional paper, n° 164, pp. 1-18.
- DYKSTRA (D.P.) KALLIO (M.), 1987 — Introduction to the IIASA forest sector model, in KALLIO M., DYKSTRA D. P. & BIRKLEY C.S., eds, *The global forest sector : an analytical perspective*, Chichester, John Wiley and Sons, pp. 459-472.
- GILLESS (J.K.) BUONGIORNO (J.), 1986 — Papyrus : a model of the North American pulp and paper industry, *For. Sci. Monogr.* 28.

- HAYNES (R.W.) ADAMS (D.M.), 1981 — Research on TAMM and other elements of the US timber assessment, in SEPPALA R., ROW C. & MORGAN A., eds, *Forest sector models*, Berkhamsted (G.-B.), AB Academic Publishers, pp. 9-25.
- KUULUVAINEN (J.) SEPPALA (H.) SEPPALA (R.), 1977 — *A planning model for the Finnish forest sector*, Nordic Forest Economics Seminar, Varparanta, 9 p.
- LÖNNSTEDT (L.), 1986 — A dynamic forest sector model with a Swedish case, *For. Sci.* 32 (2), pp. 377-397.
- LÖNNSTEDT (L.) PEYRON (J.L.), 1989 — FIBRE : a French PC-based regional forest sector model applied to Burgundy, *Ann. Sci. For.*, 46, pp. 101-118.
- OTTOLENGHI (F.) VOLPE (A.), 1987 — The present state of the wood processing industry in the EEC : an overview, in : *Forest industry in the EEC during the eighties*, FAST occasionnal paper n° 164, pp. 19-133.
- RANDERS (J.) LÖNNSTEDT (L.), 1979 — Transition strategies for the forest sector, *Futures*, vol. 11, n° 3, pp 195-205.