Sol et productivité des peupliers ' I 214 ' et ' Robusta ' en populiculture traditionnelle dans le Nord du Bassin Parisien

J. GARBAYE

avec la collaboration technique de G. Courrier et de Louisette Masar

*Station de recherches sur les sols forestiers et la fertilisation
Centre National de Recherches Forestières, I.N.R.A., Champenoux, 54280 Seichamps*

Résumé

Une enquête sur soixante-sept peupleraies du Nord du Bassin Parisien a permis de définir six groupes de sols de fertilité différente pour les clones ' I 214 ' et ' Robusta ' cultivés de façon traditionnelle (sans fertilisation ni travail du sol prolongé).

Pour les sols sans hydromorphie permanente, le critère essentiel est la présence ou l'absence de carbonate de calcium dans l'horizon A_1 : ' Robusta ' est sensible au carbonate de calcium (réduction de croissance) ; ' I 214 ' est indifférent.

Dans le cas des sols à nappe permanente, deux caractères ont une influence significative sur la production : la profondeur de réduction permanente (PRP) et la profondeur de réduction temporaire (PRT). Pour les deux clones, la production est maximale pour $30\text{ cm} < \text{PRP} \leq 65\text{ cm}$ et $\text{PRT} > 30\text{ cm}$.

Les productions sont en général faibles : $10\text{ m}^3/\text{ha/an}$ à 20 ans en moyenne, de l'ordre de $20\text{ m}^3/\text{ha/an}$ à 20 ans au maximum.

Ces résultats peuvent avoir une grande portée pratique, en permettant de prévoir des fourchettes de productivité en fonction du type de sol et en permettant de choisir le type d'intervention susceptible d'améliorer cette production.

1. — Objectifs de l'étude

Depuis plus de 10 ans, la populiculture française subit une évolution caractérisée par l'usage massif de nouveaux clones à croissance rapide (' I 214 ' , essentiellement), de techniques de cultures intensives (travail du sol, fertilisation, désherbage chimique) et par l'extension à de nouveaux types de sol (sols sans nappe permanente, hors des vallées où les peupliers avaient leur place traditionnelle dans les paysages français).

Cette nouvelle populiculture a suscité divers travaux de recherche, et nous disposons déjà de nombreux résultats expérimentaux concernant l'efficacité des différentes interventions culturales sur des types de station précis. Parmi ces études ponctuelles, les observations réalisées sur les populets implantés depuis la guerre par la Commission Nationale du Peuplier ont apporté de précieux renseignements. Mais pour des raisons d'urgence, ces études ont d'abord et le plus souvent porté là où les nouvelles techniques étaient vulgarisées et où *a priori*, elles devaient probablement être

plus rentables, c'est-à-dire essentiellement sur les sols alluviaux légers à forte amplitude de nappe (type vallée de la Garonne) et sur les sols limoneux hors vallées (type terres agricoles abandonnées, ou taillis-sous-futaies sur bonne station mais peu productifs du fait d'une sylviculture mal adaptée).

Il résulte de cet état de fait que l'on sait toujours peu de choses concernant l'écologie générale des différents clones de peuplier, et en particulier l'influence précise du type de sol sur leur nutrition minérale et leur production en l'absence d'interventions culturales, et sur les sols alluviaux à nappe de faible amplitude qui sont les plus fréquents en populiculture dans le Nord du pays.

Ces connaissances fondamentales sont pourtant indispensables si l'on veut interpréter, extrapoler et appliquer rationnellement des résultats expérimentaux ponctuels. L'étude de la nutrition minérale est également nécessaire pour concevoir une stratégie cohérente concernant l'expérimentation et l'application en matière de fertilisation.

Nous avons donc entrepris par la méthode de l'enquête (Garbaye J. *et al.*, 1970 ; Le Tacon F., 1973) l'étude de l'écologie des deux clones les plus utilisés ('I 214' et 'Robusta') dans une région bien définie : le Nord du Bassin Parisien, qui est une des plus importantes régions populières de France.

Les premiers résultats que nous présentons ici ont trait aux relations observées entre la production et le type de sol caractérisé par des critères simples. Dans un prochain article, nous les compléterons par l'étude détaillée de la nutrition minérale du même échantillon.

2. — Matériel et méthodes

2.1. — Caractéristiques de la région étudiée

La région étudiée (carte de la figure 1) occupe le Nord du Bassin Parisien ; très schématiquement, elle est limitée à l'Ouest par une ligne Boulogne-Chartres, au Sud par une ligne Chartres-Bar-sur-Aube, à l'Est par les plateaux calcaires du Jurassique supérieur, et au Nord par la frontière Belge et la Manche.

Le relief est peu accentué (altitudes variant de 0 à 200 m environ), et caractérisé par des plateaux crétacés et tertiaires entaillés de nombreuses vallées, dans lesquelles se trouvent la plupart des peupleraies étudiées.

Les cours d'eau qui occupent ces vallées, quelle que soit leur importance, ont tous leur bassin en plaine : l'Yonne, la Seine, l'Aube et la Marne prennent leurs sources sur les plateaux du jurassique supérieur, et les autres dans la région étudiée elle-même. Il en résulte que leur régime est assez semblable, avec des crues hivernales et une faible amplitude des variations du niveau de la nappe pendant la saison de végétation. Ceci est donc très différent de ce que l'on rencontre dans certaines grandes vallées consacrées à la populiculture : la Loire et la Garonne, par exemple, prennent leurs sources en montagne et sont affectées par la fonte des neiges ; la nappe y subit des variations de forte amplitude pendant la saison de végétation.

Le climat, à dominance atlantique, varie dans la région considérée suivant un gradient nord-sud :

FIG. 1. — Région étudiée et localisation des placettes.

(Region of the study and situation of the plots).

— le total des précipitations annuelles passe de 1 000 mm dans le Boulonnais (coin nord-ouest) à 500 mm en Beauce (coin sud-ouest). Toutefois, dans la zone réellement occupée par notre échantillon de placettes, l'amplitude n'est que de 550 à 800 mm ;

— En juillet, la moyenne des températures varie de 17 à 19 °C environ du nord au sud, et l'évapotranspiration potentielle de 100 à 115 mm (Turc *et al.*, 1963).

2.2. — L'échantillon

La carte de la figure 1 donne la répartition géographique des vingt-sept placettes de 'I. 214' et des quarante placettes de 'Robusta' qui constituent l'échantillon.

Ces placettes ont été choisies selon les critères suivants :

— certitude sur le clone, l'âge et le passé cultural par questionnaire soumis au propriétaire ou au responsable de la gestion ;

— représentativité de la populiculture « traditionnelle », c'est-à-dire sans fertilisation ni façons culturales intensives prolongées après la plantation ;

— au moins 6 ans depuis la plantation, afin d'amortir autant que possible les différences dues aux techniques de plantation et de permettre la mesure du volume sur pied ;

— homogénéité interne (topographie, type de sol, végétation, peuplement) ;

— plus grande diversité possible entre les placettes vis-à-vis du type de sol et de la productivité estimée avant cubage. Outre une majorité de placettes sur sols alluviaux à nappe permanente, l'échantillon comprend des placettes hors vallées sans nappe, de façon à couvrir toute la gamme des régimes hydriques.

TABLEAU 1

Structure de l'échantillon en fonction de la productivité, de la densité de plantation et de l'âge (p. 100 de l'effectif dans chaque classe de valeurs du caractère considéré)

Distribution in the sample of productivity, age and planting density (p. 100 of total number of plots)

Caractère	Clone	Classes de valeurs du caractère						
		0-4	5-9	10-14	15-19	20-24		
Accroissement moyen à 20 ans (m³/ha/an)	‘ I. 214 ’	0	30	55	11	4		
	‘ Robusta ’	1	44	48	2	5		
		150-199		200-249		250-299		
Densité de plantation (tiges/ha)	‘ I. 214 ’	33		66		0		
	‘ Robusta ’	25		58		17		
		5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39
Age de la plantation (ans)	‘ I. 214 ’	52	37	7,5	3,5	0	0	0
	‘ Robusta ’	10	17,5	52,5	15	0	2,5	2,5

Le tableau 1 donne la structure de l'échantillon vis-à-vis de l'âge, de la densité de plantation et de la productivité réelle calculée de la façon indiquée plus loin. On remarque que 'I. 214', d'introduction plus récente que 'Robusta', est généralement

plus jeune et planté à plus faible densité (ce qui correspond à une évolution des techniques).

Par rapport à 'Robusta', 'I 214' présente également un léger décalage vers les plus fortes productivités.

2.3. — Estimation de la productivité

2.31. — Principe.

Un préalable à toutes les enquêtes de ce type (Garbaye J. *et al.*, 1970 ; Le Tacon F., 1973), est de pouvoir comparer la production de placettes d'âges différents, le cas le plus favorable étant celui où il existe une table de production pour l'essence concernée dans la même région.

Une telle table n'existe pas pour le peuplier en France ; nous avons donc été obligés (*) d'établir des courbes de productivité à partir de l'échantillon lui-même.

Dans le cas des peuplements forestiers, on compare généralement des hauteurs dominantes à un âge de référence. Ce critère est un bon indice de la productivité en volume, mais nous ne l'avons pas retenu pour trois raisons principales :

— La reconstitution des courbes de croissance en hauteur nécessite des analyses de tiges ou des prélèvements de carottes à différentes hauteurs par grimpage. Nous avons cherché à éviter ces opérations destructives, lourdes et coûteuses.

— La mesure de la hauteur totale est sujette à caution chez 'I 214', qui présente souvent une cime multiple (fortes fourches).

— Les grandes différences de densité observées dans l'échantillon font que l'on peut douter de la valeur de la hauteur comme seul critère de productivité.

Pour ces raisons, nous avons préféré travailler sur le volume total du peuplement, et nous avons procédé de la façon suivante :

2.32. Déroulement des opérations.

Un sous-échantillon de douze placettes de 'Robusta' et huit placettes de 'I 214', couvrant toutes les gammes d'âge, de diamètre et de densité, a été choisi pour l'établissement des tarifs de cubage. Dans chaque placette, vingt à trente arbres ont été cubés individuellement par la méthode des photographies hémisphériques (Bartoli et Ducrey, 1974), qui présente l'avantage de limiter au maximum les opérations sur le terrain. L'erreur est inférieure ou égale à 5 p. 100 (volume total fin bout sur écorce).

Pour chaque clone séparément, nous avons construit graphiquement le tarif à une entrée donnant le volume en fonction de la circonférence à 1,30 m. L'âge, la hauteur ou la densité de plantation ont une influence non significative vis-à-vis de la précision d'ensemble ; l'élaboration de plusieurs tarifs indexés sur ces variables n'est donc pas justifiée.

Notons qu'il existait déjà un tarif pour 'I 214' en France (Bonduelle, 1974). Outre qu'il ne s'applique pas à 'Robusta', il présentait un certain nombre de défauts dans le cas de notre étude, malgré sa grande précision : il fait intervenir la hauteur,

(*) Avec Bartoli M., station de Sylviculture et Production du C.N.R.F., à qui l'on doit l'essentiel de l'étude dendrométrique résumée ici.

il donne le volume bois fort et non pas le volume total, plus intéressant pour une étude de productivité, et il a été construit pour une popuculture intensive assez éloignée de celle qui nous intéresse ici.

Nous avons ensuite appliqué nos tarifs à vingt ou trente arbres de chacune de nos placettes, pour calculer le volume total sur pied à l'hectare.

Puis nous avons prélevé une carotte à 1,30 m sur un arbre de volume moyen dans vingt-huit placettes (11 ' I 214 ' et 17 ' Robusta '), choisies parmi les plus âgées et concernant toute la gamme des productivités estimées et des densités de plantation.

Grâce à ces carottes et aux tarifs précédemment établis, nous avons alors construit les courbes de croissance en volume total par hectare de ces vingt-huit placettes, en passant par l'intermédiaire des circonférences à 1,30 m.

La forme des courbes étant la même pour les deux clones, nous sommes arrivés au faisceau des courbes de la figure 2, qui permet par interpolation de comparer la productivité des placettes.

FIG. 2. — Courbes de croissance en volume total à l'hectare (valables pour les deux clones).

(Curves of total volume increment per hectare. Adequate for the two clones).

Nous avons retenu comme indice de productivité l'accroissement moyen à 20 ans (noté I_{M20}) en $m^3/ha/an$.

Il est intéressant de noter que la forme des courbes est la même quelle que soit la densité de plantation, tout au moins dans les limites de notre échantillon (cent cinquante-six à trois cent trois tiges à l'ha). De plus, nous n'avons pas trouvé par la suite de relation entre l'indice de productivité et la densité.

Il semble donc que la perte de productivité due à de trop grands espacements ne soit encore que peu sensible pour $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ (ce qui correspond à cent cinquante-six tiges/ha).

2.4. — *Caractérisation des sols*

Une fosse a été creusée au milieu de chaque placette, et le profil a été décrit de façon détaillée. Après prélèvement, chaque horizon a fait l'objet des déterminations suivantes :

- densité apparente (D') par la méthode du prélèvement au cylindre ;
- carbone « total » (méthode Anne : attaque à chaud par le bichromate de potassium en milieu sulfurique) ;
- azote total (méthode Kjeldahl) ;
- $pH(H_2O)$;
- cations échangeables : Ca (pour les échantillons non calcaires), K, Mg et Mn ;
- capacité totale d'échange (méthode à l'acétate d'ammonium) ;
- phosphore assimilable (méthode Duchaufour-Bonneau) ;
- calcaire total (calcimètre (Bernard) ;
- manganèse réductible (percolation à l'acétate d'ammonium en présence d'un réducteur : chlorhydrate d'hydroxylamine) ;
- granulométrie sans décarbonatation (seulement sur les échantillons contenant moins de 20 p. 100 de matière organique) ;
- humidités à $pF\ 4,2$ (point de flétrissement permanent) et à $pF\ 3$ (humidité équivalente), seulement sur les sols sans nappe permanente.

2.5. — *Méthode d'interprétation*

Face à ces deux séries de variables (indice de productivité et caractéristiques du sol), nous avons le choix entre deux méthodes de traitement :

- analyse multivariée, prenant en compte toutes les variables et recherchant par le calcul des ensembles homogènes,
- approche synthétique, testant différents types de groupement des placettes constituées suivant des considérations pédologiques.

Dans les deux cas, le but est le même : rechercher le classement des placettes qui rend le mieux compte des différences de productivité observées dans l'échantillon.

Nous avons adopté la seconde méthode, considérant que le nombre relativement modeste de placettes rendait facile l'approche synthétique, et que celle-ci serait probablement plus fructueuse, car plus simple. Il est en effet primordial, dans le cadre d'une telle étude, que les liaisons ou les différences observées soient interprétables biologiquement et applicables dans la pratique.

3. — Résultats

3.1. — Généralités sur les sols

Deux grandes catégories des sols sont représentées dans notre échantillon :

— Les sols non alluviaux, sur les plateaux ou sur les pentes. Ils constituent seulement 27,5 p. 100 de l'ensemble de l'échantillon, et sont développés sur limon des plateaux, sur sables ou argiles crétacées et tertiaires, ou sur des mélanges de ces matériaux par colluvionnement. Du point de vue génétique, ils appartiennent aux groupes des sols bruns lessivés, bruns acides mésotrophes, eutrophes ou calcaires. Une faible marmorisation due à la présence d'une nappe temporaire est fréquente mais nous n'avons pas rencontré de pseudogleys. Le passé cultural de ces sols est souvent l'agriculture, et parfois la forêt (plantation de peupliers sur défrichement de taillis-sous-futaie).

— Les sols alluviaux, dans les grandes et petites vallées. Ils constituent 72,5 p. 100 de l'ensemble de l'échantillon, et sont développés sur des alluvions argileuses à limoneuses, avec parfois une composante sableuse, qui proviennent de l'érosion des formations crétacées et tertiaires de la région. La texture varie souvent au sein d'un même profil, du fait de phases d'alluvionnement successives liées aux changements de régime des cours d'eau au cours du quaternaire récent. Ces matériaux sont presque toujours calcaires, et des horizons tourbeux enfouis trahissent parfois l'existence passée d'un régime lent et régulier du cours d'eau.

Du point de vue génétique, ces sols appartiennent aux groupes des gleys, des sols humiques à gley et des sols hydromorphes organiques (tourbe eutrophe à *Phragmites communis*). Un horizon de gley est toujours présent dans ces sols alluviaux. Lorsqu'il est à plus de 1,10 à 1,30 m de profondeur, on a un sol brun alluvial (mésotrophe, eutrophe ou le plus souvent calcaire). Le passé cultural de ces sols de vallées est souvent la populiculture, la prairie pâturée, ou encore la friche marécageuse.

3.2. — Critères pédologiques retenus pour la constitution des ensembles de placettes

3.2.1. Sols sans hydromorphie permanente.

(Sols non alluviaux, ou sols alluviaux à gley à plus de 110 cm, n'affectant pas les caractères du sommet du profil.)

Différents classements ont été essayés, en tenant compte des caractères simples suivants :

- climat (température, précipitations et E. T. P. estivales) ;
- position topographique ;
- réserve en eau utile dans les 50 premiers centimètres (calculée à partir de la densité apparente et des humidités à pF 4,2 et pF 3), qui varie de 52 à 166 mm ;
- texture ;
- densité apparente ;
- type d'humus ;

- présence/absence, ou profondeur de la marmorisation ;
- présence ou absence de calcaire dès la surface.

C'est ce dernier critère (présence ou absence de carbonate de calcium dans l'horizon A_1 ou A_p) qui rend le mieux compte des différences de productivité observées entre les placettes : la production de 'Robusta' est significativement supérieure sur les sols sans calcaire dès la surface, indépendamment des autres caractères. Pour 'I 214', par contre, la différence n'est pas significative.

3.22. Sols à hydromorphie permanente (gley à plus de 110 cm de la surface).

Les mêmes critères que pour les sols sans hydromorphie permanente ont tout d'abord été essayés sans succès. Il est vite apparu que le facteur déterminant de la productivité des peupliers (les deux clones réagissant de la même façon, cette fois), était le régime hydrique du sol, et en particulier les positions relatives de la zone constamment occupée par la nappe et de celle où elle fluctue. La très grande sensibilité des peupliers aux fluctuations du plan d'eau a d'ailleurs été maintes fois mise en évidence (Pourtet et Turpin, 1958), mais nous avons eu l'occasion, grâce aux observations multistationnelles, d'en étudier la manifestation en détail. Nous avons donc été amenés à définir de façon précises deux caractères :

* La profondeur de réduction permanente ou presque permanente (PRP).

C'est la profondeur en cm à partir de laquelle au moins un des critères suivants doit être vérifiée :

- couleur grise, gris verdâtre ou bleuâtre sur plus de 80 p. 100 de la surface de la coupe verticale de l'horizon (valable pour les horizons minéraux). C'est la définition d'un horizon Gr (gley réduit), caractérisé par la présence quasi-permanente d'une nappe réductrice et par l'état réduit du fer,

- chute brutale de la teneur en Manganèse réductible (dans un rapport de 1 à 5 au moins) par rapport à l'horizon immédiatement supérieur. Ceci est valable dans les vallées où la nappe circule lentement, évacuant latéralement le manganèse réductible. Dans les dépressions fermées où la nappe ne circule pas, on assiste au contraire à une accumulation de manganèse dans la zone constamment engorgée,

- odeur d' H_2S et absence totale de racines vivantes (valable pour les horizons tourbeux, dans lesquels les critères précédents ne sont pas applicables).

* La profondeur de réduction temporaire (PRT).

C'est la profondeur à partir de laquelle se manifeste la présence temporaire mais fréquente de la nappe (horizon G_0 : gley oxydé), qui se traduit par une oxydation localisée du fer : plus de 10 p. 100 de taches rouilles ou de concrétions sur la surface de la coupe verticale de l'horizon. Il est important de remarquer que ces caractères définissent une zone de présence fréquente de la nappe pendant la saison de végétation, qui n'a rien à voir avec d'éventuelles crues hivernales, fréquentes sur tous ces types de sol mais sans dommage pour les peupliers. Signalons également que, dans certains cas $PRP = PRT$, ce qui traduit une grande stabilité de la nappe.

En fonction de ces deux caractères PRP et PRT, nous avons établi le diagramme de la figure 3 qui donne le signe des écarts de production par rapport à la moyenne de l'ensemble des placettes (écarts calculés séparément pour les deux clones).

FIG. 3. — Signe des écarts de production ($l_{M_{20}}$) par rapport à la moyenne en fonction de la profondeur de réduction temporaire (abscisses) et de la profondeur de réduction permanente (ordonnées).

(Sign of the production deviations from the mean value, vs temporary reduction depth (absciss) and permanent reduction depth (ordinate).)

On voit que les plus fortes productions se trouvent pour les valeurs moyennes de PRP et, à l'intérieur de cette zone, pour les fortes valeurs de PRT.

Nous avons donc défini quatre ensembles de sols à hydromorphie permanente par les profondeurs limites de 30 et 65 cm, qui sont matérialisées sur le diagramme (C, D, E, F).

3.3. — Définition et caractérisation des ensembles de sols

Les critères choisis (présence ou absence de calcaire dès la surface pour les sols sans hydromorphie permanente, PRP et PRT pour les sols à hydromorphie permanente) ont permis la définition de six ensembles de sols dont les caractéristiques essentielles sont rassemblées dans le tableau 2 :

TABLEAU 2

Caractérisation des ensembles de sols. Pour chaque caractère, la valeur de la moyenne est suivie, entre parenthèses, des valeurs extrêmes observées dans l'ensemble considéré

Characterization of soil groups. For each character, the mean value is followed by the extreme values in brackets

Ensembles de sols	Caractères servant à la définition des ensembles de sols			Caractéristiques de l'horizon A _I			Propriétés physiques		
	teneur en calcaire de l'horizon A _I (p. 100)	profondeur d'apparition de la réduction permanente (cm)	profondeur d'apparition de la réduction temporaire (cm)	épaisseur de l'horizon A _I (cm)	teneur en matière organique de l'horizon A _I (p. 100)	rapport C/N de l'horizon A _I	pH de l'horizon A _I	densité apparente maximale dans les 50 premiers cm	réserve en eau utile dans les 50 premiers cm (mm)
A	0 (0-0)	> 110	—	14 (10-25)	4 (3-5)	11 (10-13)	4,8 (4,4-6,2)	1,5 (1,3-1,6)	133 (79-160)
B	5 (1-27)	> 110	—	18 (10-25)	5 (2-11)	11 (8-12)	7,4 (6,5-8,1)	1,4 (1,3-1,6)	112 (52-166)
C	5 (0-18)	85 (70-95)	58 (25-90)	15 (10-30)	7 (4-22)	11 (8-16)	7,5 (5,3-8,0)	1,4 (0,9-1,5)	—
D	14 (0-47)	46 (33-60)	41 (33-50)	15 (5-40)	14 (5-25)	11 (9-17)	7,3 (5,3-7,8)	1,0 (0,5-1,7)	—
E	17 (0-66)	50 (35-60)	16 (10-30)	14 (10-30)	15 (3-22)	11 (9-18)	7,4 (5,6-8,1)	1,1 (0,6-1,7)	—
F	7 (0-37)	23 (15-30)	0 (0-0)	20 (8-40)	22 (6-42)	12 (10-22)	7,2 (6,1-7,9)	0,8 (0,5-1,6)	—

— *Ensemble A* (huit placettes).

Sols sans hydromorphie permanente, décarbonatés au moins dans l'horizon de surface. Types génétiques : sols bruns acides, mésotrophes, eutrophes ou bruns lessivés, parfois marmorisés. Types d'humus allant du mull acide au mull eutrophe, souvent perturbés par la culture (A_p). Ces sols sont généralement situés en position haute dans le paysage : plateau avec limon en place, en station horizontale, ce qui a permis la décarbonatation.

— *Ensemble B* (dix placettes).

Sols sans hydromorphie permanente, carbonatés dès la surface. Type génétique : sol brun calcaire, parfois marmorisé, à mull calcique dénaturé et appauvri en matière organique par la culture (A_p). Ces sols sont développés sur pentes ou en bas de pente, sur des matériaux colluviaux dont le remaniement récent n'a pas permis la décarbonatation.

— *Ensemble C* (douze placettes).

Sols à hydromorphie permanente profonde ($PRP \geq 65$ cm). Types génétiques : gleys profonds à mull mésotrophe, eutrophe, ou le plus souvent calcique, et à hydromull.

— *Ensemble D* (douze placettes).

Sols à hydromorphie permanente moyennement profonde ($30 < PRP \leq 65$) et à zone de fluctuation fréquente de la nappe moyennement profonde ($PRT > 30$ cm). Types génétiques : gleys peu profonds à hydromull et sols humiques à gley, avec anmoor calcique.

— *Ensemble E* (quatorze placettes).

Comme l'ensemble D, mais $PRT \leq 30$ cm.

— *Ensemble F* (onze placettes).

Sols à hydromorphie permanente proche de la surface ($PRP \leq 30$ cm). Gleys peu profonds à hydromull, sols humiques à gley à anmoor calcique et tourbes eutrophes.

3.4. — *Productivité des peupliers sur les différents ensembles de sols*

Le tableau 3 donne les valeurs de l'accroissement moyen à 20 ans (I_{M20} en $m^3/ha/an$) pour les six ensembles de sol précédemment définis, classés par ordre de productivité décroissante pour 'I 214' (D, E, C, A, F, B).

On voit que la productivité de 'I 214' est toujours supérieure ou égale à celle de 'Robusta', mais que la différence n'est significative que dans les stations extrêmes : ensembles de sols D et E (forte production) et B et F (conditions limites dues au calcaire pour B et à l'excès d'hydromorphie pour F).

TABLEAU 3

Accroissement moyen à 20 ans ($m^3/ha/an$) sur les six ensembles de sol, pour les deux clones. Un astérisque indique une différence significative au seuil de 5 p. 100 (comparaison de moyennes deux à deux par le test « t » petits échantillons)

Mean increment at 20 years ($m^3/ha/an$) on the six soil groups, for the two clones. An asterisk indicates a 5 p. 100 level significant difference

Ensembles de sols	Différence entre clones	'Robusta'			'I. 214'		
		moyenne	valeurs extrêmes dans l'échantillon	écart-type	moyenne	valeurs extrêmes dans l'échantillon	écart-type
avec nappe permanente : D($30 < PRP < 65$ et $PRT > 30$ cm)	*	14,4 *	10,0-23,0	3,8	19,6 *	17,0-25,0	3,7
avec nappe permanente : E($30 < PRP \leq 65$ et $PRT \leq 30$ cm)	*	10,7	7,4-13,3	1,7	14,5	13,0-17,0	1,8
avec nappe permanente : C ($PRP > 65$ cm)		10,4	6,5-14,0	2,6	11,0 *	9,6-13,0	1,5
sans nappe permanente : A (sans calcaire dès la surface) .		10,8 *	9,5-13,8	2,0	9,9	7,8-12,2	1,9
avec nappe permanente : F($PRP \leq 30$ cm) .		8,0	4,9-10,1	2,5	9,5	7,4-11,5	1,6
sans nappe permanente : B (avec calcaire dès la surface) .	*	6,9	5,0-9,5	1,6	9,3	7,9-10,5	1,1

On remarque également que seul 'Robusta' présente une différence de productivité significative entre les ensembles A et B : ce clone est plus sensible au calcaire que 'I 214'.

4. — Discussion et interprétation

Le schéma de la figure 4 regroupe l'ensemble des résultats obtenus sous la forme d'une toposéquence idéalisée.

En partant de la droite du schéma, on trouve l'eau libre : cours d'eau dans une vallée ou étang au centre d'une dépression fermée (dépression hors vallée ou ancien bras mort dans une vallée).

Le niveau de cette eau libre se prolonge ensuite vers la gauche par le niveau moyen de la nappe permanente qui occupe les alluvions (sommet de la zone de réduc-

FIG. 4. — Représentation schématique des relations entre le type de sol et la production.
La hauteur des arbres sur le dessin est proportionnelle à la production moyenne sur chaque type de sol.

(Diagramm showing the relationship between soil type and production.
The height of the trees on the figure is proportionnel to the mean production on each soil type).

tion permanente). Pour simplifier, nous avons représenté cette nappe comme parfaitement horizontale.

La nappe est surmontée de la zone de réduction temporaire définie au paragraphe 3.2.2, dont l'épaisseur est ici supposée constante (zone de fluctuations fréquentes de la nappe en période estivale).

A partir du cours d'eau, les terrains alluviaux s'élèvent progressivement, ce qui a pour conséquence l'augmentation des profondeurs de réduction permanente et de réduction temporaire.

On constate que la croissance des deux clones est maximale vers le milieu de cette toposéquence sur alluvions, pour PRP comprise entre 30 et 65 cm. C'est dans cette zone que l'équilibre est le meilleur entre un volume de sol aéré suffisant pour la prospection par les racines et de débit de la remontée capillaire à partir de la nappe permanente. Giesel *et al.* (1972) ont en effet montré que dans des sols argilo-limoneux comme nous avons généralement ici et pour une E. T. P. de 3,5 mm par jour (nous avons 110 mm comme moyenne de juillet), un débit suffisant de la remontée capillaire n'était réalisé que dans les 20 cm au-dessus de la nappe. Cette distance correspond à peu près à l'épaisseur de la zone de réduction temporaire (fluctuation fréquente de la nappe) qui n'est pas colonisée par les racines.

A l'intérieur de cette zone de profondeur optimale de la réduction permanente (de 30 à 65 cm), on observe d'ailleurs une meilleure croissance lorsque la zone de réduction temporaire est profonde (PRT supérieure à 30 cm) : les racines occupent alors un plus grand volume et s'approchent plus de la nappe (ensemble D par rapport à l'ensemble E).

Lorsque le terrain s'abaisse, vers le cours d'eau sur notre schéma, la nappe est plus proche de la surface (PRP $\leq$ 30 cm) et le débit de la remontée capillaire n'est pas le facteur limitant. La mauvaise productivité des peupliers (ensemble F) s'explique alors au contraire par l'excès d'eau : la quasi totalité du sol est soumise à des conditions réductrices, tout au moins temporairement. Comme la plupart des espèces forestières, les peupliers supportent mal ces conditions (Marcu *et al.*, 1970) : les racines se nécrosent et meurent, ce que l'on observe facilement sur nos profils, dans les horizons à réduction même temporaire. Ce mauvais état permanent des extrémités actives du système racinaire, ajouté au faible volume de sol disponible, limite fortement la croissance des arbres.

A l'inverse, dans l'ensemble C, la nappe est profonde (PRP supérieur à 65 cm) et l'hydromorphie ne constitue plus un obstacle à l'enracinement. Celui-ci reste cependant superficiel : nous n'avons observé qu'exceptionnellement des racines de peuplier abondantes au-delà de 50 cm sur nos profils (ceci est probablement dû, entre autres causes, aux techniques de plantation à faible profondeur traditionnellement pratiquées dans la région). La croissance médiocre s'explique alors par l'insuffisance du débit de la remontée capillaire au niveau des racines les plus profondes : les peupliers souffrent d'un déficit hydrique en période estivale, de la même façon que sur les stations hors vallée, sans nappe permanente.

Ces types de stations sans hydromorphie permanente sont représentés dans la partie gauche du schéma. Contrairement à ce que nous venons d'observer dans le cas des vallées, les deux clones ne s'y comportent pas de la même façon : alors que 'I 214' est indifférent à la présence de calcaire dès la surface, 'Robusta' présente une productivité supérieure sur les sols décarbonatés au moins dans l'horizon A₁.

Lors d'une expérimentation sur de jeunes plants de 'I 214' et « Fritzi-Pauley » en conditions contrôlées (Garbaye, Le Tacon, 1974), nous avons effectivement remarqué que ces peupliers, tout comme de nombreux résineux, étaient sensibles à la présence de carbonate de calcium dans le sol, même à très faible dose (1 p. 100). Cette sensibilité est nette en condition de déficit hydrique, et disparaît ou est très atténuée lorsque l'alimentation en eau n'est plus un facteur limitant. Decourt et Le Tacon (1970) signalent la même chose pour l'*Epicea* adulte dans la nature.

Dans le cas de notre expérience en conditions contrôlées, nous avons également montré l'importance du facteur clone : « Fritzi-Pauley » était beaucoup plus sensible au calcaire que 'I 214'. Pour revenir à la présente étude, le comportement de 'Robusta' se rapprocherait donc de celui de « Fritzi-Pauley ».

Il convient cependant de noter que, dans notre échantillon, la géomorphologie générale de la région étudiée fait que les sols décarbonatés se trouvent généralement sur les plateaux, alors que les sols calcaires occupent les pentes et les bas de pente (voir paragraphe 3.3). L'échantillon est donc biaisé, dans ce sens que presque toutes les placettes situées en bas de pente ont un sol calcaire : les deux facteurs « calcaire » et « apport d'eau latéral » ne sont donc pas indépendants. Le premier est cependant prépondérant, et n'est pas compensé par une meilleure alimentation en eau en bas de pente.

5. — Applications pratiques

5.1. — Productivité comparée à celle d'autres types de sylviculture

Une première constatation s'impose : la productivité, dans l'ensemble, est médiocre ; le plus souvent de l'ordre de 10 m³/ha/an à 20 ans, elle ne dépasse 15 m³ que sur l'ensemble de sol D, et seulement pour le clone 'I 214'.

A titre de comparaison, on relève des productions moyennes à 20 ans de 11 m³ en Angleterre (plantations denses et éclaircies, clones non précisés : Bradley, 1966), de 15 m³ en Allemagne avec 'Robusta' (même type de sylviculture : Ratzel, 1969), et de 40 m³ en Italie, dans la plaine du Pô, avec 'I 214' (Prevosto, 1965). Dans ce dernier cas, la sylviculture est la même qu'en France : plantation à faible densité (200 à 270 tiges à l'ha), pas d'éclaircies ; mais les techniques de culture y sont plus intensive (travail du sol), et le climat y est plus chaud.

La populiculture traditionnelle du Bassin Parisien donne donc des résultats moyens, comparables à ceux d'autres populicultures extensives de l'Europe du Nord (Angleterre, Allemagne).

Les résultats spectaculaires obtenus dans la plaine du Pô sont dus, outre les facteurs climatiques favorables (fort ensoleillement), à l'intensification des techniques de culture : travail du sol, fertilisation.

Dans les régions de France où ces techniques sont introduites, les productions de 'I 214' sont bien supérieures à ce que nous observons ici (Barneoud et Bonduelle, 1969).

Toujours à titre de comparaison, signalons que l'*Epicea* commun produit 16 m³/ha/an à 25 ans dans la classe 1 de la table de production de Decourt (1971), soit autant que les peupliers de notre échantillon.

Il n'en reste pas moins que seuls les peupliers permettent de mettre en valeur des sols à hydromorphie permanente proche de la surface (ensemble F de notre classification).

5.2. — Prévisions de production à partir de l'observation du sol

Pour chacun des six ensemble de sols définis à partir de critères simples observables sur une fosse pédologique (présence ou absence de calcaire dans le A₁, PRP et PRT), le tableau 4 donne les valeurs extrêmes de I_{M20} entre lesquelles se situe la productivité réelle d'une station, au risque de 5 p. 100 (intervalle de confiance de la moyenne).

TABLEAU 4

Limites de la valeur prévisible de la production (I_{M20} en m³/ha/an à 20 ans) sur les différents types de sol. Les valeurs portées dans le tableau sont arrondies à l'unité inférieure pour la limite inférieure et à l'unité supérieure pour la limite supérieure

Prediction of the productivity (I_{M20} in m³/ha/year) on the different soil groups

Ensemble de sols		'Robusta'	'I. 214'
Sols sans nappe permanente	A(sans calcaire dès la surface) . .	8-14	7-13
	B(avec calcaire dès la surface) . .	5-9	8-11
	C(PRP > 65 cm)	8-13	9-13
Sols avec nappe permanente	D(30 < PRP ≤ 65 cm et PRT > 30 cm)	11-18	14-26
	E(30 < PRP ≤ 65 cm et PRT ≤ 30 cm)	9-12	12-17
	F(PRP ≤ 30 cm)	5-11	8-11

5.3. — Eléments de choix de type de plantation en restant dans le cadre d'une populiculture extensive

Actuellement, l'industrie française du bois de peuplier recherche des grumes de 140 cm de circonférence à 1,30 m. En tenant compte de cet objectif et en utilisant les tarifs de cubage et les courbes de production que nous avons établis, il est possible de déterminer quel sera l'âge d'exploitabilité pour obtenir une telle circonférence pour l'arbre de volume moyen de la plantation, en fonction de la densité de plantation et de la productivité de la station (I_{M20}).

A titre d'exemple, le tableau 5 donne les résultats pour les cinq densités de plantation les plus fréquemment rencontrées et pour trois niveaux de productivité : 8, 14 et 20 m³/ha/an à 20 ans.

Les tableaux 4 et 5, utilisés conjointement après observation du profil de sol de la parcelle à planter, permettent de prévoir approximativement la production future et de choisir le clone et la densité de plantation en fonction des résultats désirés.

TABLEAU 5

Age d'exploitabilité pour obtenir $C_{130} = 140$ cm, en fonction de la densité de plantation et de la productivité de la station

Cropping age in order to have $C_{130} = 140$ cm, VS planting density and site productivity

Espacement en carré (m)		6 × 6	6 × 7	7 × 7	7 × 8	8 × 8
Densité (tiges/ha)		278	238	204	179	154
Age d'exploitabilité pour obtenir $C_{130} = 140$ cm	Volume total (m ³ /ha)	428	366	314	276	237
	‘ I. 214 ’					
	Im ₂₀ = 8	—	39	34	29	25
	Im ₂₀ = 14	29	25	22	20	19
	Im ₂₀ = 20	22	19	17	16	15
	Volume total (m ³ /ha)	523	447	383	336	289
	‘ Robusta ’					
	Im ₂₀ = 8	—	—	—	35	30
	Im ₂₀ = 14	39	30	26	23	21
	Im ₂₀ = 20	25	22	20	18	16

On remarque que, toutes les conditions étant les mêmes par ailleurs, ‘ I 214 ’ atteint plus rapidement les gros diamètres, du fait de son coefficient de forme différent. Outre sa productivité généralement supérieure, ceci confère un avantage supplémentaire à ce clone dans la conjoncture industrielle actuelle. Si celle-ci changeait, c'est toute la populiculture française qui serait remise en question : la recherche du seul volume total maximum pourrait conduire vers de nouvelles conceptions (taillis à courte révolution, plantations denses avec ou sans éclaircies, etc...).

5.4. — Possibilités d'amélioration de la productivité des stations

Tous les résultats et toutes les observations qui précèdent s'appliquent à une populiculture traditionnelle extensive.

Voyons à présent, pour les différents ensembles de sols que nous avons définis, qu'elles peuvent être les techniques à mettre en œuvre pour en corriger les défauts (nous ne parlerons pas des éventuels besoins en fertilisation : nous attendons pour cela les résultats de l'étude de la nutrition minérale du même échantillon, à paraître prochainement).

— Ensemble A et B.

Ces stations, en l'absence de nappe permanente, souffrent d'un déficit hydrique estival. Il convient donc de lutter contre la végétation concurrente, de faciliter la pénétration des eaux pluviales et de limiter l'évaporation directe sur la surface du sol. Le travail superficiel du sol pendant plusieurs années a déjà fait la preuve de son efficacité. Cependant, dans certains cas tout au moins, le désherbage chimique a une efficacité bien supérieure (Garbaye et Leroy, 1974). En effet, le travail du sol, s'il supprime

la végétation concurrente, permet une forte évaporation directe par le sol nu, surtout si celui-ci est limoneux (phénomène de « battance »). Le désherbage chimique, par contre, tue la végétation mais la laisse sur place, constituant un paillage qui réduit l'évaporation en interceptant le rayonnement solaire et en jouant le rôle d'isolant thermique. De plus, le désherbage chimique ne lèse pas les racines superficielles des peupliers, ne détruit pas la structure peu stable des sols limoneux et ne perturbe pas le cycle des éléments minéraux dans l'humus.

Signalons cependant que le travail du sol pratiqué après la chute des feuilles ou avant le débourrement limite la dissémination de *Marssonina brunnea* en enfouissant les feuilles mortes porteuses d'apothécies (Pinon, 1975). Cette pratique est donc à conseiller dans tous les cas pour '1214' qui est particulièrement sensible à cette maladie.

— Ensemble C.

Nous avons vu que l'alimentation en eau y était également un facteur limitant. Deux types de mesures peuvent y remédier : lutte contre la végétation concurrente (travail du sol ou désherbage chimique) et plantation profonde en plançon, afin de faciliter un enracinement le plus proche possible de la nappe. L'efficacité de ces techniques dans ce type de station a d'ailleurs été démontrée (Pourtet et Turpin, 1958).

— Ensemble D.

L'eau n'est plus un facteur limitant. Etant donné la bonne productivité naturelle de ces sols, il n'est pas évident qu'une intervention soit nécessaire. Un léger travail du sol peut cependant être un élément de lutte contre *Marssonina brunnea*.

— Ensemble E.

Cette fois, c'est la trop grande proximité de la zone de réduction temporaire qui constitue le facteur limitant. Un drainage superficiel par fossés de 30 à 40 cm ou par billons est donc à conseiller, dans la mesure où il est possible de trouver un exutoire (les pentes sont généralement très faibles dans les vallées alluviales).

— Ensemble F.

Même remarque, mais le drainage a cette fois pour but d'abaisser la nappe de façon permanente, et est d'autant plus difficile à réaliser. Sur ce type de station, il est de plus très difficile de faire pénétrer des engins. La populiculture y reste forcément peu productive, mais on ne dispose pas d'alternative pour la mise en valeur de ces zones.

Reçu pour publication en juillet 1978.

Remerciements

La prospection, effectuée sur un nombre considérable de peupleraies, n'a été possible que grâce au concours de l'Union régionale des syndicats de propriétaires forestiers de Nord-Picardie, du Centre Régional de la propriété forestière du Nord-Picardie, de l'Institut pour le développement forestier, des services forestiers des Directions départementales de l'agriculture des départements concernés, et des Conseillers forestiers qui ont bien voulu nous accompagner sur le terrain.

Summary

Soil and productivity of « I-214 » and « Robusta » poplars grown under traditional silvicultural conditions

Investigation of 67 poplar stands in the North of France led to the definition of 6 soil groups with differing fertility levels for « I-214 » and « Robusta » poplars grown under ordinary conditions, i.e. ; without fertilization or soil tilling.

On soils without permanent hydromorphy, the most important factor is the occurrence or absence of calcium carbonate in the A_1 horizon : « Robusta » is calcium carbonate sensitive ; « I-214 » is indifferent.

On soils with a permanent water table, two factors have a significant influence on productivity : the depth of permanent reduction (PRP) and the depth of temporary reduction (PRT). For both clones, production is maximum for $30 \text{ cm} < \text{PRP} < 65 \text{ cm}$, and $\text{PRT} > 30 \text{ cm}$.

The production is generally low : mean value is $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$ at 20 years, and maximum value $20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$ at 20 years.

These results may have valuable practical applications : they allow to predict a productivity range according to the type of soil and to select the best treatments to improve soil fertility.

Références bibliographiques

- BARNEOUD C. et BONDUELLE P., 1969. Volume sur pied et production de peupleraies ' I 214 ' réparties dans l'est de la France. *Ass. Forêt-Cellulose*.
- BONDUELLE P., 1974. Recherche d'un tarif de cubage pour le peuplier ' I 214 ' valable pour la France. *Ass. Forêt-Cellulose*, rapport 1974.
- BRADLEY R. T., CHRISTIE J. M. et JOHNSTON D. R., 1966. Forest management tables. Forestry commission booklet n° 16, London 1966.
- DECOURT N., 1971. Tables de production provisoires pour l'Epicea commun dans le nord-est de la France. *Ann. Sci. forest.*, 1971, **29** (1).
- DECOURT N., LE TACON F., 1970. L'Epicea commun (*Picea excelsa*) sur les plateaux calcaires de l'est de la France. Essai de prévision de la production à l'aide de déterminations pédologiques simples. *Ann. Sci. forest.*, 1970, **27** (3).
- DUCREY M. et BARTOLI M., 1974. Utilisation des photographies hémisphériques pour le cubage des arbres sur pied. *Ann. Sci. forest.*, 1974, **31** (4).
- GARBAYE J., LEROY Ph., LE TACON F., LEVY G., 1970. Réflexion sur une méthode d'études des relations entre facteurs écologiques et caractéristiques des peuplements. *Ann. Sci. forest.*, 1970, **27** (3).
- GARBAYE J. et LEROY Ph., 1974. Fertilisation, désherbage chimique et travail du sol dans une plantation de peupliers ' I 214 '. *Revue Forestière Française*, 1974, n° 2.
- GARBAYE J. et LE TACON F., 1974. Etude expérimentale du comportement de diverses essences résineuses et de deux clones de peuplier vis-à-vis du pH et de la teneur en calcaire du sol. *Revue Forestière Française*, 1974, n° 6.
- GIESEL W., RENGGER M. et STEBEL O., 1972. Berechnung des kapillaren Aufstiegs aus dem Grundwasser in den Wurzelraum unter stationären Bedingungen. *Zeitschrift für Pflanzen Ernährung und Bodenkunde*, 1972, **132** (1).
- LE TACON F., 1973. Sol, nutrition et production ligneuse. *Ann. Sci. forest.*, 1973, **30** (3).
- MARCO, PAPADOPOULOS et PIRVU, 1970. Engorgement du sol et croissance des peupliers. *Stud. Cerc. Inst. cerc. Silice*, 1970, **27** (2).
- PINON J. et POISSONNIER M., 1975. Etude épidémiologique du *Marssonina brunea* (Ell. et Ev.) P. Magn. *Eur. J. For Path.*, 5, 97-111.
- POURTET J. et TURPIN P., 1958. L'influence de la profondeur du plan d'eau et du travail du sol sur la croissance des peupliers. *R. F. F.*, 1958, 6.
- PREVOSTO, 1965. L'accrescimento del pioppo euramericano ' I 214 '. Istituto di sperimentazione per la pioppicoltura, Rome, 1965.
- TURC L., HLAVEK R., GOBILLOT TH., LECARPENTIER C., 1963. Cartes d'évapotranspiration potentielle. Interprétation et utilisation. *Bulletin Technique du Génie Rural*, n° 60.