

**PERSPECTIVES DU PIN D'ALEP (Pinus halepensis Mill)
DANS LA FABRICATION DE LA PATE A PAPIER**

Par V. HUYNH-LONG et L. KHELIFI

DEPARTEMENT DE FORESTERIE
ET PROTECTION DE LA NATURE

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE
EL HARRACH - A L G E R -

R E S U M E

Le présent travail consiste à étudier les possibilités d'utilisation du bois de *Pinus halepensis* Mill dans la fabrication de la pâte à papier.

En nous basant sur le procédé au chlore, utilisé en industrie papetière nationale, nous avons essayé de déterminer la meilleure concentration de réactif, le palier de température ainsi que la durée optimale de cuisson.

Ces paramètres sont prouvés et confirmés par l'obtention d'un rendement élevé, par la qualité de la pâte et surtout de ses caractéristiques physiques et mécaniques.

Mots clés: Pâte à papier, propriétés physiques et mécaniques, pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), bois résineux, procédé au chlore, procédé Pomilio.

ملخص

يتمحور هدف دراستنا في امكانيات استعمال خشب المنوير الحلبي *P.halepensis* Mill في صناعة عجينة الورق. ولهذا الغرض اعتمدنا على اتماء تقنية الكلور المستعملة في صناعة الورق الوطنية. وخلال هذه الدراسة حاولنا معرفة احسن تركيز للكاشف و الحرارة الفضلى و الفترة الزمنية المناسبة للطهي.

واكدت هذه التجارب نتائج ايجابية تمثلت في مردود عالي ونوعية جيدة للعجين وخاصة تلك الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية التي ميزت هذه المادة

I N T R O D U C T I O N

L'industrie papetière connaît de nos jours un grand essor dans plusieurs pays développés du monde. Elle leur permet de satisfaire leurs besoins en pâtes et papier et d'en exporter vers les autres pays.

L'Algérie est l'un des pays dépendant du marché mondial des pâtes et papiers. Cette dépendance est engendré par plusieurs facteurs:

- l'importante croissance démographique
- le développement de tous les secteurs économiques et culturels
- et surtout la scolarisation massive.

Par ailleurs, l'unique produit cellulosique algérien reste l'alfa dont la production annuelle de ses nappes ne dépasse guère les 100.000 tonnes. Les usines de Baba Ali, Mostaganem et Saïda demandent à elles seules 300.000 tonnes en dehors de ce que consomment les autres unités. Le déficit en cette matière est totalement comblé par les importations. (SONIC, 1978).

Cette situation a déclenché une réflexion de notre part qui repose sur la recherche d'une nouvelle ressource ligneuse, susceptible de porter remède à l'insuffisance de la production de l'alfa.

L'objectif de notre étude est donc d'examiner les possibilités de traiter le bois du pin d'Alep tout en respectant le procédé de fabrication, utilisé en Algérie.

1. M A T E R I E L

Nous avons porté notre choix sur le pin d'Alep pour des raisons suivantes:

- le pin d'Alep peut constituer la ressource fibreuse abondante et durable;
- le pin d'Alep occupe une superficie de 850.000 ha (KADIK B., 1983).

- Des plates-formes d'aménagement sylvicoles de cette essence sont déjà sur place dans presque tout le pays particulièrement à Saïda et Telagh. Une sylviculture de ses massifs débutera bientôt, entraînant une production ligneuse abondante (produits d'éclaircies, élevages, coupes etc...). L'industrie papetière permettra une valorisation très rentable de ces produits.

Le pin qui a servi à notre expérimentation est originaire d'un peuplement naturel à Bainem. L'arbre abattu présente les caractéristiques suivantes:

- Age 55 ans
- Hauteur 20 m
- Circonférence 90 cm
- Noeuds Assez abondants

La station est caractérisée par:

- Sol profond
- Pente de 40 %
- Exposition plein Sud

L'échantillon récolté est exempt de toute maladie parasitaire (insectes, champignons).

2. EXPERIMENTATION

Comme nous l'avons dit dans l'introduction, nous avons choisi le procédé au chlore dit procédé Pomilo pour délignifier le bois de pin d'Alep.

Ce procédé est intéressant. Il est simple et peu coûteux et c'est l'unique procédé, pratiqué en Algérie. Les produits chimiques: le chlore, la soude et l'hypochlorite de sodium sont fabriqués localement par l'électrolyse du sel marin, assez abondant dans le pays. Ce dernier ne pose pas de problème d'approvisionnement et n'exige pas d'importation.

2.1. CONFECTION DES COPEAUX

Après trois mois de séchage à l'air libre, le bois récolté est scié en rondins d'environ 1,5 cm d'épaisseur. Ces derniers sont mis en copeaux à l'aide d'une hachette. Les chips obtenus ont donc une longueur de 15 mm, une largeur de 8 à 10 mm et une épaisseur d'environ 5 mm.

Afin d'obtenir des copeaux homogènes, le triage est nécessaire pour permettre une meilleure pénétration des réactifs.

2.2. DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DE SOUDE (NaOH)

Le choix des pourcentages de NaOH est réalisé sur la base d'une concentration initiale de 18%. Après avoir testé les propriétés de cette pâte, il s'est avéré que les qualités de celle-ci sont très médiocres. Cela nous a amené à rejeter la cuisson. Le taux de la lignine restant dans la pâte s'explique par un fort pourcentage d'incuits qui est à l'origine de la médiocrité de ces propriétés. Ainsi, les concentrations de soude ont été choisies de la manière suivante: 20%, 22% et 24%. La siccité des copeaux est de 85,5% et l'hydromodule égale à 4.

2.3. CYCLE DE CUISSON

Le cycle de cuisson comprend trois phases:

- La montée en température et pression respectivement à 160°C et 10 bars pendant 1 heure et demi.
- Le palier de température et pression respectivement 160°C et 10 bars pendant 2 heures.
- La descente en température et pression jusqu'à 80°C et un bar pendant 1 heure et demie.

C'est à ce stade que le dégazage intervient pour éviter toute perte de pâtes sous l'effet des pressions élevées.

2.4. OBTENTION DE LA PATE BRUTE

2.4.1. RENDEMENT BRUT

Le rendement de la pâte brute est déterminé après lavage et essorage de celle-ci jusqu'à une siccité d'environ 30%.

Les rendements bruts obtenus par les différentes cuissons sont groupés dans le tableau suivant.

Tableau 1: Rendements bruts en pâte

| <u>CUISSONS</u> | <u>RENDEMENTS BRUTS</u> |
|-----------------|-------------------------|
| 18 % NaOH | 67,6 % |
| 20 % " | 63,4 % |
| 22 % " | 50,7 % |
| 24 % " | 43,8 % |

2.4.2. DETERMINATION DE LA SOUDE RESTANTE

La détermination de la soude restante comme celle de permanganate de potassium et des autres indices de cuisson nous permet d'expliquer l'état de la pâte. Les résultats obtenus sur les sodes restantes sont les suivants.

Tableau 2: Détermination de la soude restante

| <u>CUISSONS</u> | <u>SOUDES RESTANTES: g/l</u> |
|-----------------|------------------------------|
| 18 % NaOH | 1,8 |
| 20 % " | 4,0 |
| 22 % " | 8,6 |
| 24 % " | 11,6 |

Ce tableau nous montre que la soude restante augmente avec les cuissons

2.5. FINITION DE LA PATE OBTENUE

Pour éliminer la lignine non dissoute par NaOH, la pâte obtenue a subi deux autres traitements: la chloration et la sodation. Ces opérations caractérisent le procédé Pomilio. La chloration consiste à traiter la pâte brute après lavage par un courant de chlore gazeux. Le chlore a pour rôle de précipiter les lignines restantes en formant des chloro-lignines qu'on peut facilement éliminer ensuite par la soude. Cette dernière opération porte le nom de sodation.

A la fin de la chloration et de sodation, un dernier lavage est nécessaire pour éliminer complètement les chloro-lignines.

2.5.1. INDICE DE CUISSON

Cet indice sert à déterminer le degré de cuisson, donc à situer le taux de lignine restant dans les fibres. Le principe de cette opération est de titrer le chlore libre d'une pâte ayant subi une chloration pendant 15 minutes.

Les résultats des indices de cuisson sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Indices de cuisson

| CUISSONS | INDICES |
|-----------|---------|
| 18 % NaOH | 5,4 |
| 20 % " | 3,3 |
| 22 % " | 2,2 |
| 24 % " | 0,3 |

L'indice de cuisson que nous avons estimé meilleur pour la pâte de pin d'Alep est de 2,2, sachant

que plus l'indice de cuisson est faible, plus le taux de lignine diminue et plus la pâte tend à se dégrader.

La pâte obtenue à 22% de concentration de soude nous paraît donc la plus intéressante.

2.5.2. INDICE DE PERMANGANATE (KMnO₄)

C'est une autre méthode de dosage de la lignine restante dans les fibres constituant la pâte. Cet indice permet donc de déterminer l'état de la pâte, due à la délignification. Pour nos expériences, le meilleur indice de permanganate est de 7,5.

Les indices de permanganate obtenus des cuissons sont les suivants.

Tableau 4: Indices de permanganate

| CUISSONS | INDICES |
|-----------|---------|
| 18 % NaOH | 10,8 |
| 20 % " | 9,8 |
| 22 % " | 7,5 |
| 24 % " | 5,5 |

2.5.3. RENDEMENT NET

C'est le rendement obtenu après chloro-sodation. Il exprime la proportion de bois net dans la fabrication du papier, la lignine étant éliminée.

Pour sa détermination, nous l'avons calculé de la même manière que le rendement brut.

Les résultats sont les suivants

Tableau 5: Rendements nets en pâte

| CUISSONS | RENDEMENTS NETS |
|-----------|-----------------|
| 18 % NaOH | 56,4 % |
| 20 % " | 51,4 % |
| 22 % " | 46,8 % |
| 24 % " | 43,5 % |

COMMENTAIRES

Nous constatons à chaque cuisson qu'il existe une grande différence entre les deux types de rendements, sauf pour la pâte à 24% NaOH où la différence n'est que de 0,3%. Cela implique certainement que la pâte a été fortement cuite, d'où l'élimination presque totale de la lignine au cours de la cuisson. Ainsi, l'effet de la chlorosodation n'est pas significatif.

Cette idée semble être confirmée par la chute brusque des deux indices de cuisson et de permanganate pour la pâte à 24% NaOH.

Le troisième critère qui nous permet d'affirmer cela est le changement de couleur pendant la chloration. Nous n'avons constaté presque pas de changement de couleur qui indique la présence de lignine pour la cuisson à 24% NaOH. Une telle chute en rendement peut conduire à la dégradation des hémicelluloses, qui jouent un rôle important dans les propriétés mécaniques du papier.

Sur la base de ces différentes observations, nous avons retenu comme meilleure la cuisson à 22% NaOH.

2.6. B L A N C H I M E N T

L'opération de blanchiment est effectuée en deux étapes:

- Première étape:

- Concentration de la pâte : 10 %
- Hypochlorite de sodium : 1,6 %
- Température : 40°C
- Durée : 1 heure

- Deuxième étape:

- Concentration de la pâte : 8 %
- Hypochlorite de sodium : 1 %
- Température : 40°C
- Durée : 5 heures

3. ANALYSE DES RESULTATS

Pour faciliter l'interprétation des résultats, nous avons recours à la représentation graphique, complétée par une étude statistique. Cette dernière plus précise, et plus significative, nous permet de déterminer avec exactitude les différences entre les caractéristiques papetières et, par conséquent, de découvrir la meilleure concentration de soude.

3.1. RESULTATS OBTENUS

Nos essais ont été effectués sur les principales propriétés mécaniques du papier à savoir la longueur de rupture (exprimée en mètres), la déchirure (en indice de déchirure), l'éclatement (en indice d'éclatement), le pliage (en nombre de doubles plis) et l'allongement (en pourcent d'allongement).

Pour chaque cuisson et par propriété, nous avons réalisé cinq répétitions. Ces résultats rapportés en valeurs moyennes sont consignés dans les tableaux suivants.

Tableau 6 : Variation de la longueur de rupture (L.R.)
en fonction du temps de raffinage (en mn)
et de la concentration de soude (% NaOH)

| PATES | ECRUES | | | BLANCHIES | | |
|-----------|--------|------|------|-----------|------|------|
| | SOUDE | 20% | 22% | 24% | 20% | 22% |
| RAFFINAGE | | | | | | |
| 20' | 3801 | 4907 | 3370 | 3540 | 4920 | 3929 |
| 40' | 4835 | 6101 | 3886 | 4231 | 6291 | 4840 |
| 60' | 6532 | 8114 | 5460 | 6616 | 7492 | 6507 |
| 80' | 6786 | 9361 | 6718 | 7923 | 9184 | 8201 |

Tableau 7: Variation de l'indice de déchirure (Id) en fonction
du temps de raffinage et de la concentration de soude

| PATES | ECRUES | | | BLANCHIES | | |
|-----------|--------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | SOUDE | 20% | 22% | 24% | 20% | 22% |
| RAFFINAGE | | | | | | |
| 20' | 242 | 295 | 257 | 239 | 285 | 207 |
| 40' | 166 | 245 | 198 | 157 | 239 | 193 |
| 60' | 150 | 215 | 171 | 153 | 231 | 190 |
| 80' | 143 | 171 | 136 | 127 | 192 | 152 |

Tableau 8: Variation de l'indice d'éclatement (Ie) en fonction du temps de raffinage et de la concentration de soude

| Pâtes | Ecrues | | | Blanchies | | |
|-----------|--------|------|------|-----------|------|------|
| | 20% | 22% | 24% | 20% | 22% | 24% |
| RAFFINAGE | | | | | | |
| 20' | 25,6 | 42,5 | 26,8 | 30,6 | 42,1 | 32,4 |
| 40' | 35,6 | 52,5 | 24,6 | 39,0 | 54,5 | 32,4 |
| 60' | 37,4 | 55,0 | 28,1 | 43,4 | 60,5 | 42,2 |
| 80' | 29,5 | 52,5 | 39,5 | 42,3 | 52,6 | 41,9 |

Tableau 9: Variation du pliage (Pl) en fonction du temps de raffinage et de la concentration de soude

| Pâtes | Ecrues | | | Blanchies | | |
|-----------|--------|------|------|-----------|------|------|
| | 20% | 22% | 24% | 20% | 22% | 24% |
| RAFFINAGE | | | | | | |
| 20' | 787 | 688 | 617 | 411 | 742 | 490 |
| 40' | 697 | 1377 | 854 | 766 | 971 | 866 |
| 60' | 728 | 2112 | 1265 | 1749 | 1256 | 1045 |
| 80' | 852 | 1443 | 779 | 1882 | 1112 | 1346 |

Tableau 10: Variation de l'allongement (Alt) en fonction du temps de raffinage et de la concentration de soude

| Pales soude | Ecrues | | | Blanchies | | |
|----------------|--------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | 20% | 22% | 24% | 20% | 22% | 24% |
| RAFFINAGE | | | | | | |
| 20' | 3,5 | 3,1 | 3,7 | 3,9 | 3,2 | 3,2 |
| 40' | 3,2 | 3,1 | 3,0 | 3,8 | 3,0 | 3,1 |
| 60' | 2,9 | 2,8 | 2,6 | 3,6 | 2,7 | 2,9 |
| 80' | 2,3 | 2,7 | 2,2 | 3,1 | 2,5 | 2,7 |

3.2. REPRESENTATION GRAPHIQUE

Afin de mieux suivre l'influence des concentrations de soude, issues de diverses cuissons, nous proposons la représentation des résultats obtenus en valeurs moyennes par des graphiques suivants.

3.11- Influence de la cuisson et du raffinage sur la longueur de rupture

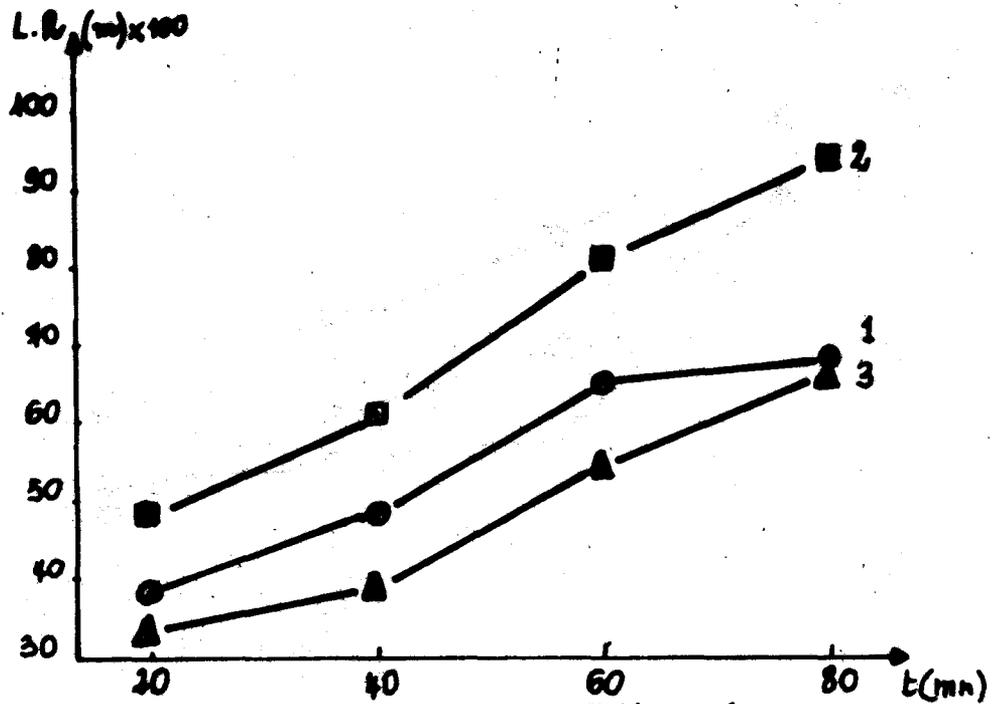


Fig. 1 Pâtes écrues

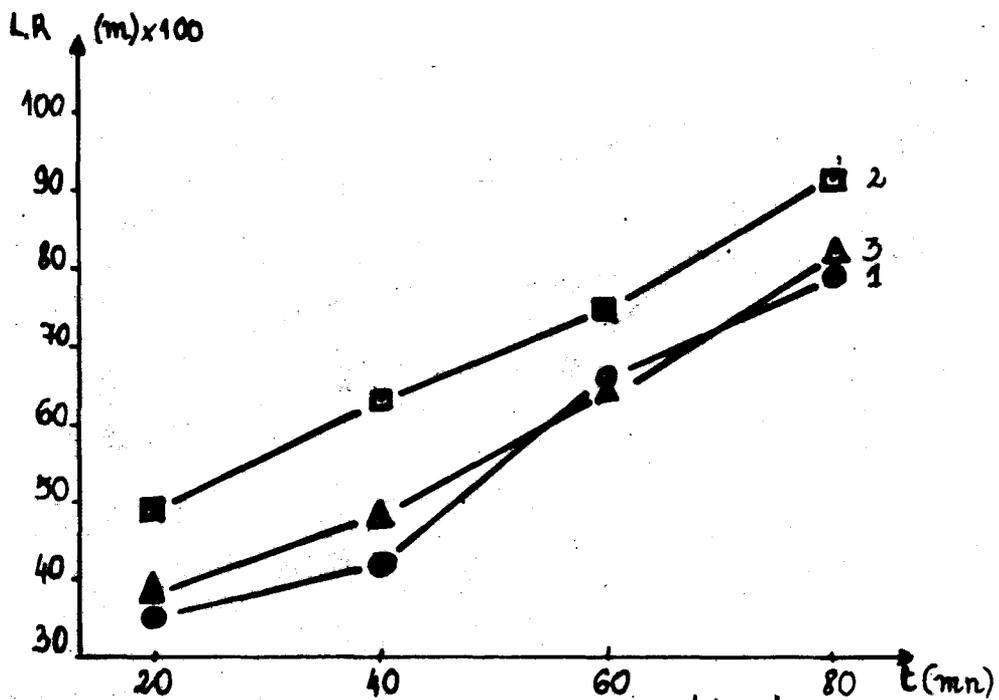


Fig. 2 Pâtes blanchies

1. Cuisson à 20% NaOH : ●
 2. Cuisson à 22% NaOH : ■
 3. Cuisson à 24% NaOH : ▲
- Echelle
 Abs: $\frac{10}{\quad}$
 Ord: $\frac{10}{\quad}$

3.1.2 Influence de la cuisson et du raffinage sur la déchirure

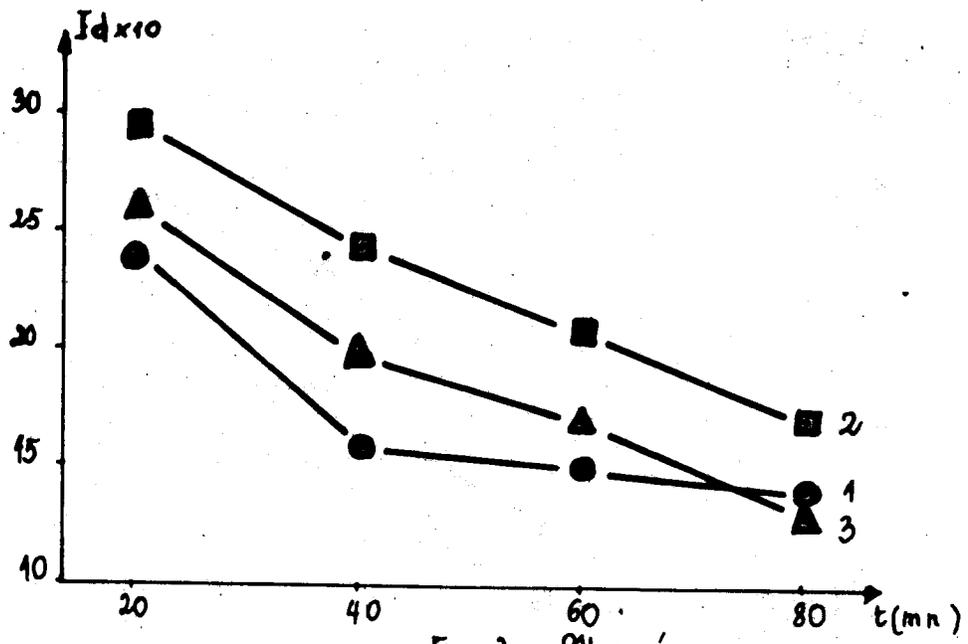


Fig. 3 Pâtes écrues

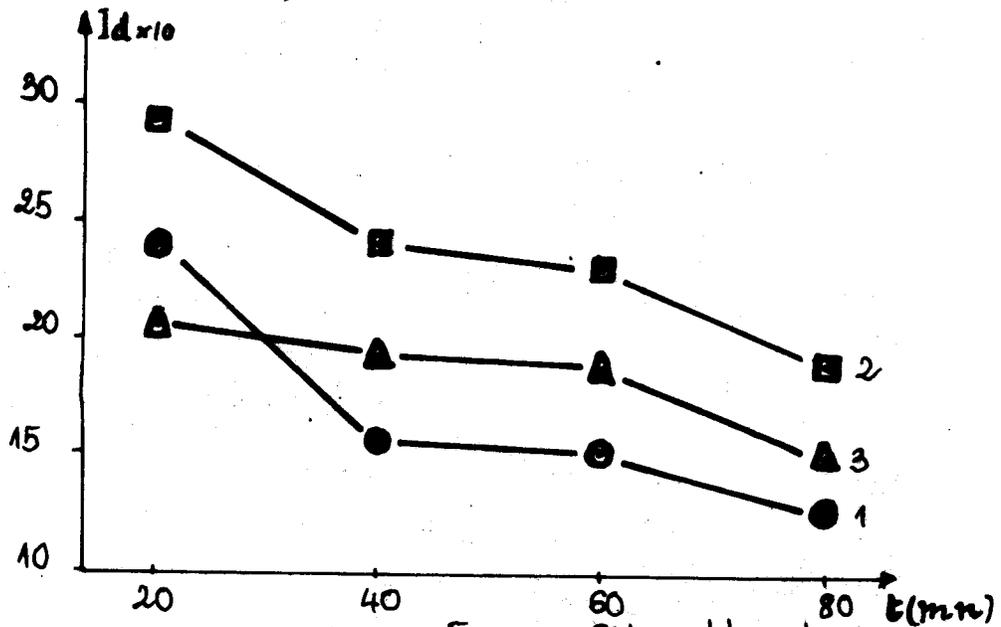
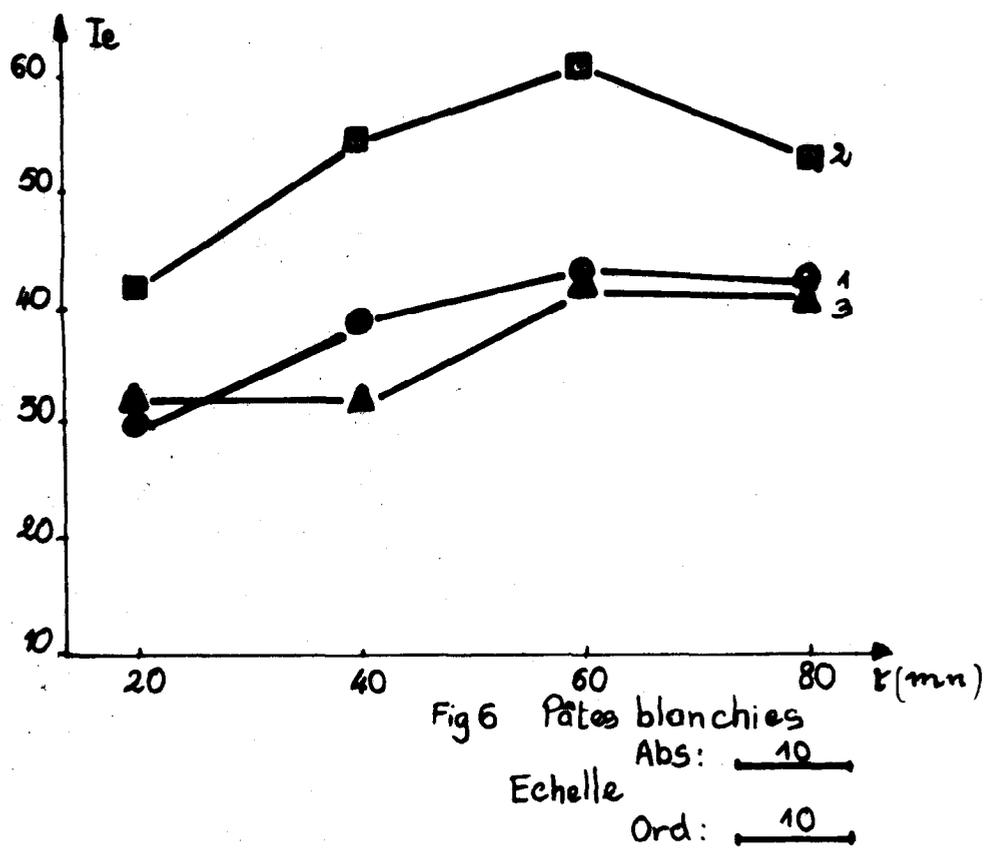
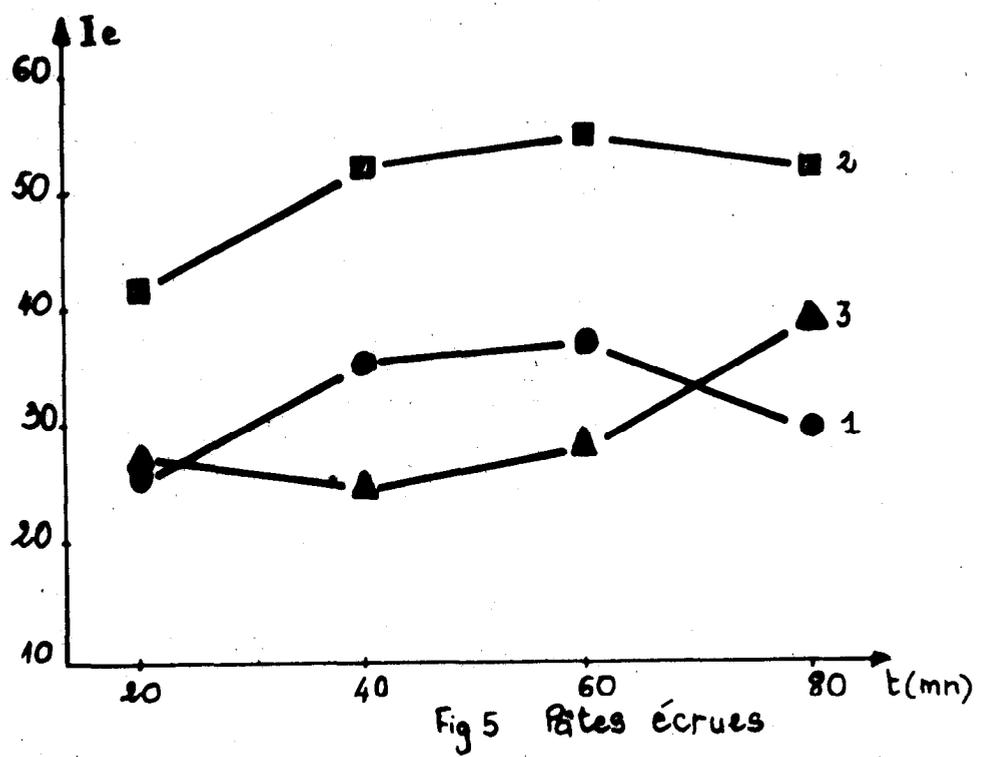


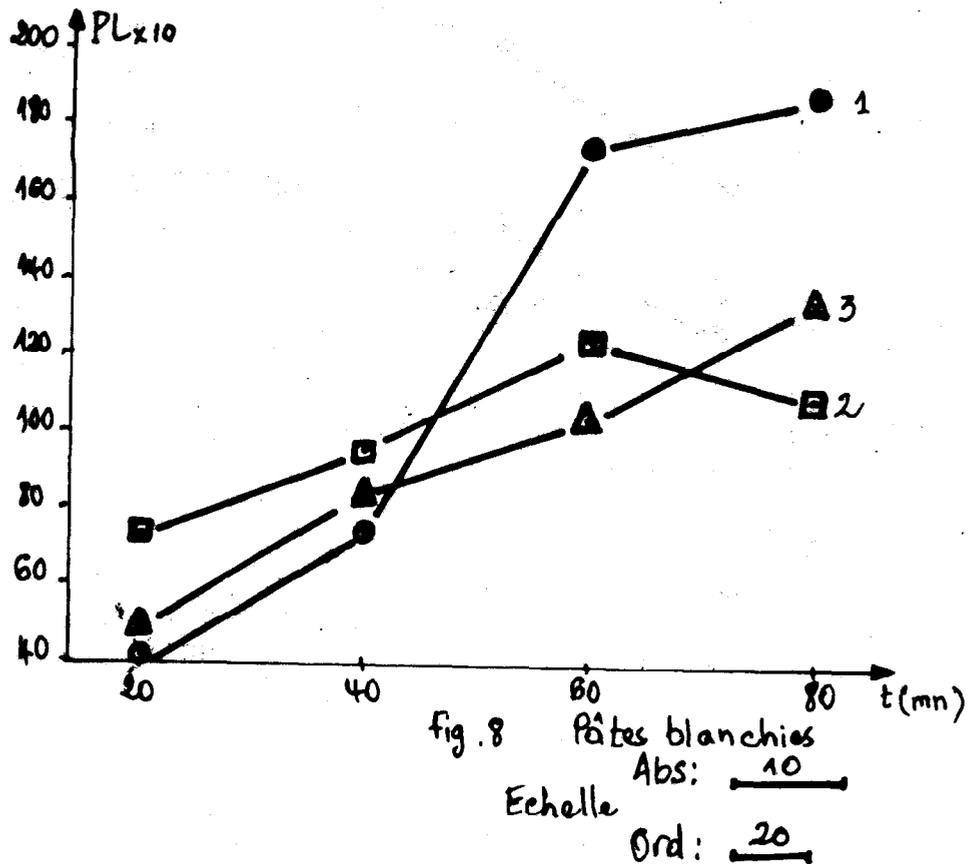
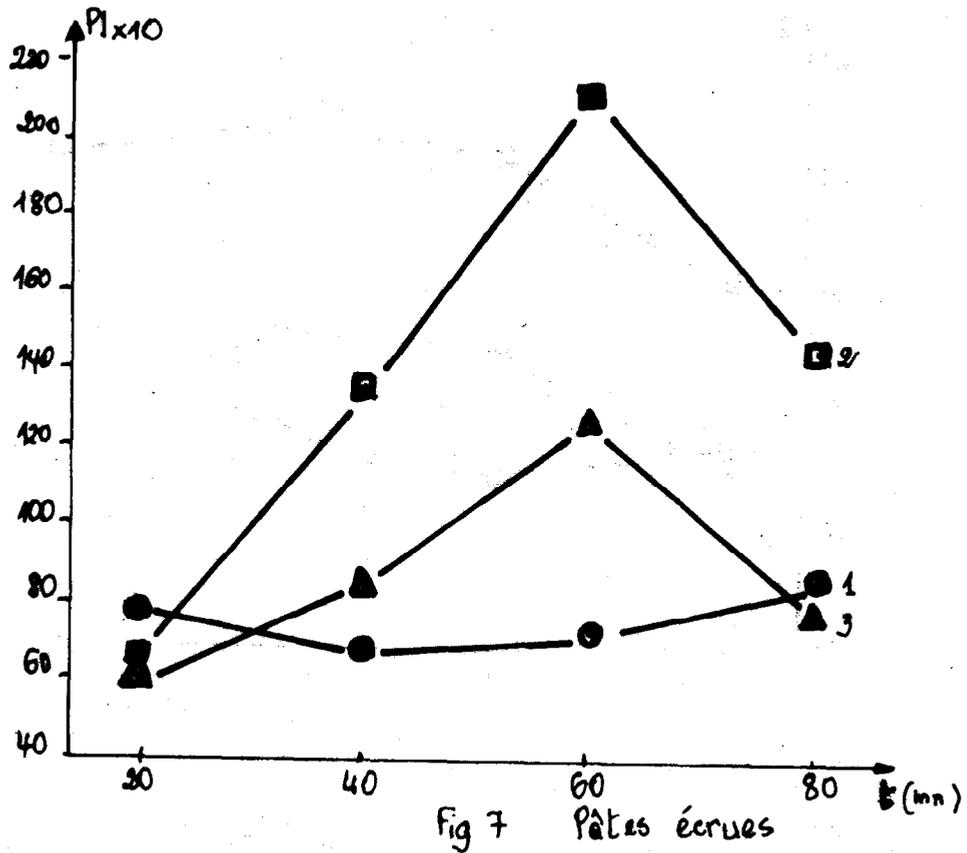
Fig. 4 Pâtes blanchies

Echelle
 Abs: 40
 Ord: 5

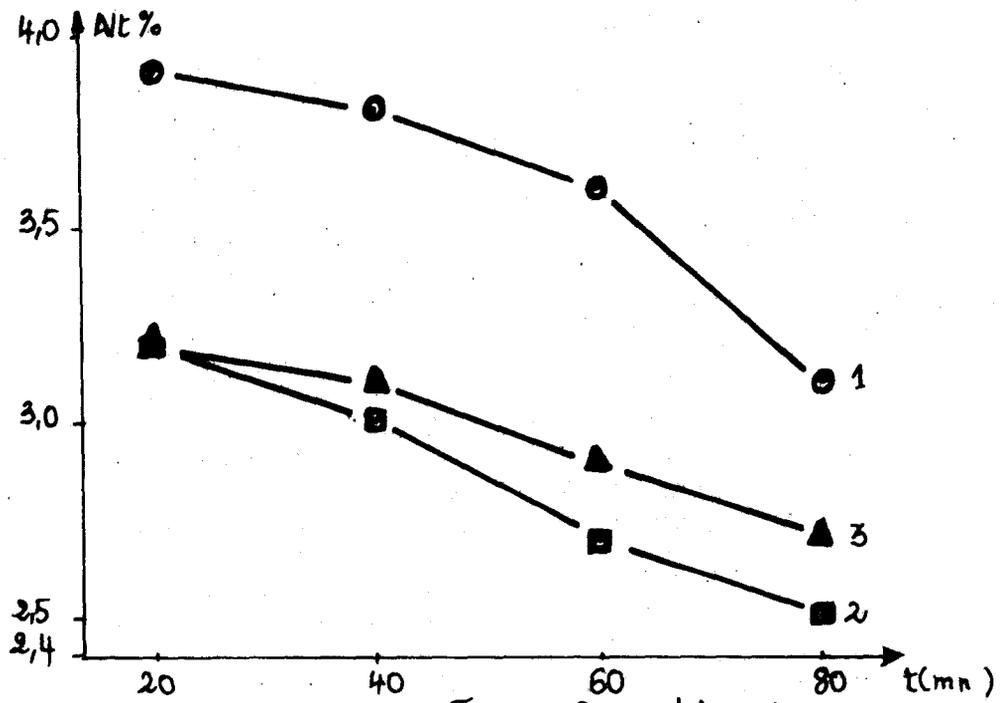
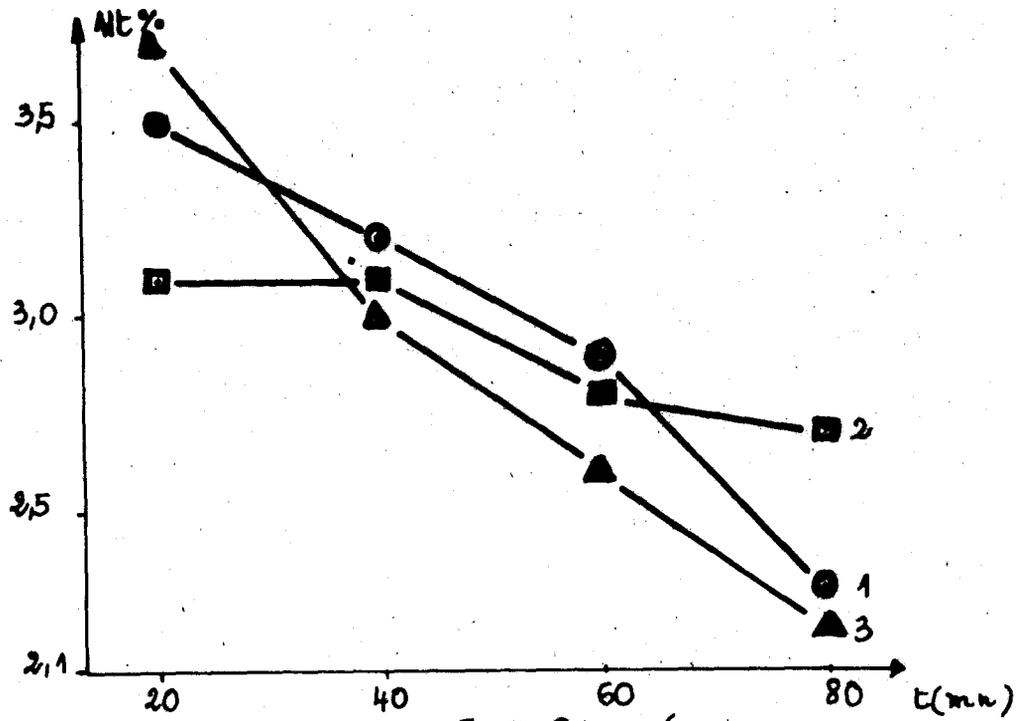
3.1.3-Influence de la cuisson et du raffinage sur l'éclatement



3.1.4- Influence de la cuisson et du raffinage sur le pliage



3.1.5- Influence de la cuisson et du raffinage sur l'allongement



Abs: $\overline{10}$
 Echelle
 Ord: $\overline{0,5}$

3.3. ANALYSE STATIQUE

E'analyse statique comprend:

- L'analyse de la variance qui met en évidence la présence et l'absence d'effets significatifs des paramètres de cuisson. Dans le cas de nos expériences, nous adopterons l'analyse de la variance à trois critères de classification (Modèle) fixe) où F_1 représente le facteur-cuisson, F_2 le temps de raffinage et F_3 la pâte (ecrue ou blanchié).
- Le test de la plus petite différence significative (ppds) nous permettra de comparer les cuissons entre elles et par l'intermédiaire des graphiques de choisir la meilleure.

$$(ppds : t_1 - d/2 \sqrt{2 \text{CMr}/n})$$

Tableau 11: Résistance à la rupture

| SOURCE DE VARIATION | DDL | F_{obs} | TEST |
|---------------------------|------------|-----------|------|
| F_1 | 2 | 30,25 | + |
| F_2 | 3 | 82,87 | + |
| F_3 | 1 | 2,99 | - |
| $F_1 \cdot F_2$ | 6 | 0,48 | - |
| $F_1 \cdot F_3$ | 2 | 3,68 | + |
| $F_2 \cdot F_3$ | 3 | 0,69 | - |
| $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$ | 6 | 0,53 | - |
| Var. résiduelle | 96 | | |
| T o t a l | 119 | | |

(+) = effet significatif

(-) = effet non significatif

Tableau 12. Test de la plus petite différence significative
(ppds = 1325)

| a. Pâtes écfues | | b. Pâtes blanchies | | | |
|-----------------|-----------|--------------------|------|-------------|------|
| CUISSONS | RAFFINAGE | DIFFERENCES | TEST | DIFFERENCES | TEST |
| 1 - 2 | 20' | 1106 | - | 1380 | + |
| | 40' | 1266 | - | 2060 | + |
| | 60' | 1582 | + | 876 | - |
| | 80' | 2575 | + | 1261 | - |
| 1 - 3 | 20' | 431 | - | 389 | - |
| | 40' | 949 | - | 609 | - |
| | 60' | 1072 | - | 109 | - |
| | 80' | 68 | - | 278 | - |
| 2 - 3 | 20' | 1537 | + | 991 | - |
| | 40' | 2215 | + | 1451 | + |
| | 60' | 2654 | + | 985 | - |
| | 80' | 2643 | + | 983 | - |

Tableau 13: Résistance à la déchirure

| SOURCES DE VARIATION | DDL | F _{obs} | TEST |
|--|-----|------------------|------|
| F ₁ | 2 | 31,79 | + |
| F ₂ | 3 | 40,96 | + |
| F ₃ | 1 | 0,10 | - |
| F ₁ · F ₂ | 6 | 0,94 | - |
| F ₁ · F ₃ | 2 | 0,31 | - |
| F ₂ · F ₃ | 3 | 1,29 | - |
| F ₁ · F ₂ · F ₃ | 6 | 0,60 | - |
| Var. résiduelle | 96 | | |
| T o t a l | 119 | | |

Tableau 14 : Test ppds = 45.

| CUISSONS | RAFFINAGE | DIFFERENCES | TEST | DIFFERENCES | TEST |
|----------|-----------|-------------|------|-------------|------|
| 1-2 | 20' | 53 | + | 46 | + |
| | 40' | 79 | + | 82 | + |
| | 60' | 71 | + | 78 | + |
| | 80' | 28 | - | 08 | - |
| 1-3 | 20' | 15 | - | 32 | - |
| | 40' | 32 | - | 36 | - |
| | 60' | 21 | - | 37 | - |
| | 80' | 07 | - | 25 | - |
| 2-3 | 20' | 38 | - | 78 | + |
| | 40' | 47 | + | 46 | + |
| | 60' | 50 | + | 41 | - |
| | 80' | 35 | - | 17 | - |

Tableau 15: Résistance à l'éclatement

| SOURCES DE VARIATION | DDL | F _{obs} | TEST |
|--|------------|------------------|------|
| F ₁ | 2 | 45,38 | + |
| F ₂ | 3 | 8,33 | + |
| F ₃ | 1 | 10,37 | + |
| F ₁ · F ₂ | 6 | 1,69 | - |
| F ₁ · F ₃ | 2 | 1,17 | - |
| F ₂ · F ₃ | 3 | 0,41 | - |
| F ₁ · F ₂ · F ₃ | 6 | 0,49 | - |
| Var. résiduelle | 96 | | |
| T o t a l | 119 | | |

Tableau 16: Test ppds = 11,6

| a. Pâtes écrues | | | | b. Pâtes blanchies | |
|-----------------|-----------|-------------|------|--------------------|------|
| CUISSONS | RAFFINAGE | DIFFERENCES | TEST | DIFFERENCES | TEST |
| 1-2 | 20' | 16,9 | + | 11,5 | - |
| | 40' | 16,9 | + | 15,5 | + |
| | 60' | 17,6 | + | 17,1 | + |
| | 80' | 23,0 | + | 10,3 | - |
| 1-3 | 20' | 1,2 | - | 1,8 | - |
| | 40' | 11,0 | - | 1,4 | - |
| | 60' | 9,3 | - | 2,2 | - |
| | 80' | 10,0 | - | 0,4 | - |
| 2-3 | 20' | 15,7 | + | 9,7 | - |
| | 40' | 27,9 | + | 22,1 | + |
| | 60' | 26,9 | + | 18,3 | + |
| | 80' | 13,0 | + | 10,7 | - |

Tableau 17: Résistance au pliage

| SOURCE DE VARIATION | DDL | F _{obs} | TEST |
|--|------|------------------|------|
| F ₁ | 2 | 6,29 | + |
| F ₂ | 3 | 19,26 | + |
| F ₃ | 1 | 0,07 | - |
| F ₁ · F ₂ | 6 | 0,96 | - |
| F ₁ · F ₃ | 2 | 8,36 | + |
| F ₂ · F ₃ | 3 | 2,98 | + |
| F ₁ · F ₂ ; F ₃ | 6 | 3,66 | + |
| Var. résiduelle | 96 | | |
| T o t a l | 119. | | |

Tableau 18: Test ppds = 532

| a. Pâtes écrués | | | b. Pâtes blanchies | | |
|-----------------|-----------|-------------|--------------------|-------------|------|
| CUISSONS | RAFFINAGE | DIFFERENCES | TEST | DIFFERENCES | TEST |
| 1-2 | 20' | 99 | - | 331 | - |
| | 40' | 680 | + | 205 | - |
| | 60' | 1384 | + | 493 | - |
| | 80' | 591 | + | 770 | + |
| 1-3 | 20' | 170 | - | 79 | - |
| | 40' | 157 | - | 100 | - |
| | 60' | 537 | + | 704 | + |
| | 80' | 73 | - | 536 | + |
| 2-3 | 20' | 71 | - | 252 | - |
| | 40' | 523 | - | 105 | - |
| | 60' | 847 | + | 211 | - |
| | 80' | 664 | + | 234 | - |

Tableau 19: Résistance à l'allongement

| SOURCE DE VARIATION | DDL | F _{obs} | TEST |
|--|-----|------------------|------|
| F ₁ | 2 | 4,64 | + |
| F ₂ | 3 | 11,43 | + |
| F ₃ | 1 | 5,71 | + |
| F ₁ · F ₂ | 6 | 0,59 | - |
| F ₁ · F ₃ | 2 | 4,38 | + |
| F ₂ · F ₃ | 3 | 0,63 | - |
| F ₁ · F ₂ · F ₃ | 6 | 0,61 | - |
| Var. résiduelle | 96 | | |
| T o t a l | 119 | | |

Tableau 20: Test ppds = 0,7

| a. Pâtes écrues | | | | b. Pâtes blanchies | |
|-----------------|-----------|-------------|------|--------------------|------|
| CUISSONS | RAFFINAGE | DIFFERENCES | TEST | DIFFERENCES | TEST |
| 1-2 | 20' | 0,4 | - | 0,7 | + |
| | 40' | 0,1 | - | 0,8 | + |
| | 60' | 0,1 | - | 0,9 | + |
| | 80' | 0,4 | - | 0,6 | - |
| 1-3 | 20' | 0,2 | - | 0,7 | + |
| | 40' | 0,2 | - | 0,7 | + |
| | 60' | 0,3 | - | 0,7 | + |
| | 80' | 0,1 | - | 0,4 | - |
| 2-3 | 20' | 0,6 | - | 0,0 | - |
| | 40' | 0,1 | - | 0,1 | - |
| | 60' | 0,2 | - | 0,2 | - |
| | 80' | 0,5 | - | 0,2 | - |

4 . DISCUSSION

4.1. LA LONGUEUR DE RUPTURE

La longueur de rupture est la plus importante des propriétés mécaniques du papier. Souvent, le marchand se base sur cette propriété pour qualifier la pâte. Elle est fonction de la longueur et de la rigidité des fibres, ainsi que du nombre de liaisons formées entre elles.

Les figures (1 et 2) représentées précédemment montrent que la longueur de rupture augmente avec le raffinage et la concentration en NaOH jusqu'à 22% puis diminue.

L'analyse de la variance (Tableau 2), nous révèle des effets significatifs de la cuisson et du temps de raffinage. On note la présence d'interaction entre la cuisson et la pâte. Cela veut dire que le blanchiment influence l'action de la cuisson sur la longueur de rupture.

Effectivement, celle-ci évolue différemment dans les deux cas (Fig. 1 et 2).

La comparaison des moyennes nous signale des différences hautement significatives entre les cuissons 1 et 2, pour 60 et 80 minutes de raffinage, alors que la deuxième diffère de la troisième pour tous les temps de raffinage. (Tab. 12 a.).

Cela n'est vrai que pour les pâtes écruës. Après blanchiment, les différences n'apparaissent qu'aux temps 20 et 40 minutes de raffinage. (Tab. 12b.).

Les différences déjà signalées et les figures (1 et 2) nous incitent à choisir la cuisson 2, qui est meilleure par rapport aux autres.

Ceci s'explique par le fait que la pâte issue de la cuisson à 20% NaOH contient encore des lignines, défavorables pour la longueur de rupture et que la pâte à 24% NaOH de la cuisson 3 est sensiblement dégradée, d'où la disparition des hémicelluloses jouant un rôle capital dans l'élaboration des liaisons entre les fibres.

4.2. LA DECHIRURE

Le tableau (13) nous montre les effets significatifs des facteurs temps et cuisson et ne signale aucune interaction. Cela veut dire que le raffinage agit de la même manière quelle que soit la cuisson. Notons toutefois que l'indice diminue avec le temps de raffinage et augmente avec le pourcentage de soude jusqu'à 22% puis redescend. (Fig. 3 et 4).

L'effet des cuissons étant significatif, il est nécessaire d'établir le test de la ppds, pour voir laquelle est la meilleure. Ce test nous a permis de détecter des différences importantes entre les cuissons 1 et 2 et 2 et 3, surtout pour le raffinage de 40 et 60 minutes. (Tab. 14 a et 14 b.).

Ces différences étant évidentes, les figures (3 et 4) montrent que la cuisson 2 offre les meilleurs indices de déchirure. Cela est vrai tant pour les pâtes écruës que pour les pâtes blanchies.

4.3. L'ECLATEMENT

C'est l'une des propriétés essentielles des papiers d'emballage, soumis à des chocs permanents. Elle dépend de la longueur des fibres et du nombre de liaisons interfibrës.

Les figures (5 et 6) montrent que l'indice d'éclatement augmente avec le temps de raffinage jusqu'à 60 minutes, puis commence à diminuer.

Il augmente aussi avec le pourcentage de soude jusqu'à 22%, puis baisse.

L'analyse de la variance (Tab. 15) nous révèle les effets significatifs de la cuisson, du raffinage et du blanchiment. Il n'existe aucune interaction entre eux. Ils agissent donc indépendamment.

Le test de la ppds met en évidence des différences significatives entre les cuissons 1 et 2 puis 2 et 3. On ne signale aucune différence entre les cuissons 1 et 3 qui gardent toujours leur faible niveau par rapport à la deuxième (Fig. 5 et 6).

Dans le cas de pâtes écrues, la cuisson 2 diffère totalement des deux autres, (Tab. 16 a.) alors que pour les pâtes blanchies, la différence n'est significative que pour les 40 et 60 minutes de raffinage (Tab. 16 b.). C'est la raison pour laquelle l'effet du blanchiment apparaît dans le tableau (15).

C'est donc toujours la cuisson 2, qui est meilleure, (Fig. 5 et 6) puisqu'elle offre aussi un indice d'éclatement d'un niveau supérieur par rapport aux deux autres.

4.4. LE P L I A G E

Le nombre de doubles plis est lié au nombre de liaisons interfibres et à la plasticité des fibres. Les figures (7 et 8) montrent que cette propriété augmente le raffinage jusqu'à 60 minutes, puis tend à se stabiliser ou regresser parce que les fibres deviennent de plus en plus courtes.

L'analyse de la variance (Tab. 17) nous renseigne sur les effets significatifs de la cuisson et du raffinage sur la résistance au pliage.

Le facteur blanchiment n'exerce aucune influence sur cette propriété mais il est en interaction avec les deux précédents. Cela explique que la cuisson et le raffinage n'agissent pas de la même manière lorsque la pâte est blanchie.

Le tableau (18a.) concernant les pâtes écrues, nous permet de découvrir des différences significatives entre la cuisson 2 et les deux autres pour un raffinage allant de 40 à 80 minutes.

La figure (9) nous montre toujours que la cuisson 2 est aussi meilleure pour cette propriété.

Le tableau (18b.) relatif aux pâtes blanchies fait apparaître la différenciation de la cuisson I des deux autres en favorisant cette dernière, seulement à partir de 60 minutes de raffinage. C'est ainsi que le blanchiment entre en interaction avec le temps et la cuisson (Tab.17).

4.5. L'ALLONGEMENT

Cette propriété est aussi importante que l'éclatement dans la fabrication de papiers d'emballage. Pour une même longueur de rupture, un papier est d'autant plus résistant que son pourcentage d'allongement est élevé. Celui-ci dépend de plusieurs facteurs: la longueur de la fibre, sa souplesse et sa rigidité. En effet, cette caractéristique diminue avec le raffinage et la concentration de soude (Fig. 9 et 10).

L'analyse de la variance met en évidence les effets significatifs des trois facteurs séparément et la présence d'une interaction entre le facteur cuisson et le facteur pâte. Par contre, le temps de raffinage agit toujours de la même façon quels que soient les deux autres (Tab. 19).

Le test de la ppds ne révèle aucune différence entre les cuissons pour les pâtes écruës (Tab. 20 a.); les seules différences sont relatives aux pâtes blanchies (Tab. 20 b.). Ainsi, la cuisson 1 diffère des deux autres (Tab. 20b). La figure (10) montre la supériorité de celle-ci. C'est d'ailleurs le seul cas où le blanchiment exerce une forte influence, mais dans le sens positif.

L'absence de différences entre les pâtes écruës et leur apparition après blanchiment expliquent l'interaction déjà mentionnée dans le tableau (19) de l'analyse de la variance.

En résumé, nous pouvons dire, en ce qui concerne le pourcentage de soude, que toutes les propriétés mécaniques

de la pâte issue de la cuisson 2 ont marqué une nette différence avec les deux autres.

L'analyse graphique montre bien que la cuisson 2 offre des qualités papetières meilleures par rapport aux cuissons 1 et 3. La majorité de différences signalées sont relatives aux 40 et 60 minutes de raffinage.

Ainsi, nous concluons que le meilleur raffinage est situé entre les deux limites, puisqu'elles offrent un degré voisin de 40° SR, appelé degré de raffinage standard (PETROFF, 1983). Au delà de ces deux limites, les propriétés mécaniques ne sont soumises à aucune loi, parce qu'un raffinage poussé accélère la fiffirillation. Cette-ci est recherchée dans la mesure où elle enrichit le papier en liaisons. Mais elle est aussi néfaste, puisqu'elle réduit la longueur de la fibre. (NOE, 1984).

La cuisson 2 étant meilleure, le blanchiment n'a pratiquement pas d'effet significatif sur la pâte résultante.

Dans l'ensemble, la pâte obtenue présente un rendement net assez élevé 46,8 % et de bonnes propriétés mécaniques (calculées à 40° SR) dont nous pouvons énumérer:

- la longueur de rupture 7550 m
- l'indice de déchirure 223
- l'indice d'éclatement 54
- le pliage 1920
- et l'allongement 2,8 %

5. CONCLUSION

L'étude des caractéristiques papetières de **Pinus halepensis** Mill. constitue une source de nombreuses informations, susceptible d'intéresser divers secteurs (papetiers, forestiers etc...). Elle confirme notre sentiment que le pin d'Alep peut offrir des qualités papetières intéressantes, permettant de proposer son utilisation dans la fabrication des papiers d'emballage, et de papiers d'impression et d'écriture.

L'application de pin d'Alep dans l'industrie cellulosique apportera, nous l'espérons, de nombreux avantages:

- l'augmentation de la production de matières fibreuses
- la réduction et la limitation des importations en pâtes et papiers
- et surtout la valorisation des ressources nationales

B I B L I O G R A P H I E

DAGNELIE (P.).- Théorie et méthodes statistiques. Presses Agronomique, Gembloux, Vol. 2. 1975. 463 p.

KADIK (B.).- Contribution à l'étude du pin d'Alep **Pinus halepensis** Mill.) en Algérie: Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. Thèse de Doctorat es sciences. Marseille. 1983.

NOE (P.).- Le raffinage des pâtes chimiques. Rev. A.T.I.P., Vol. N° 1. 1984. pp 19 - 25.

PETROFF (G.) et TISSOT (M.).- Variabilité des caractéristiques papetières d'un échantillonnage de **Pinus caribaea** de Nouvelle-Calédonie. Rev. Bois et Forêts des Tropiques. N° 190. 1980., pp 31-44.

PETROFF (P.) et TISSOT (M.).- Caractéristiques papetières et sélection clonale de deux hybrides d'eucalyptus plantés au Congo. Rev. Bois et Forêts des Tropiques; N° 199. 1983. pp 57 - 77 p.

SONIC.- Le papier, facteur de développement. 1978. 46 p.