



Caractérisation et Conditionnement de la Biomasse Forestière Résiduelle pour le Chauffage Collectif

Suzhou Yin

Service de Recherche et d'Expertise en Transformation des Produits Forestiers

REMERCIEMENTS

Synergie des sous-produits au Bas Saint-Laurent

- Centre Québécois de Développement Durable (CQDD)**
- Coopérative Forestière de la Matapédia (CFM)**
- Uniboard Canada inc, division Sayabec**

Potentiel de la biomasse forestière résiduelle

- Québec (Forêts publiques et privées)
14 697 000 m³ (6 700 000 tma)

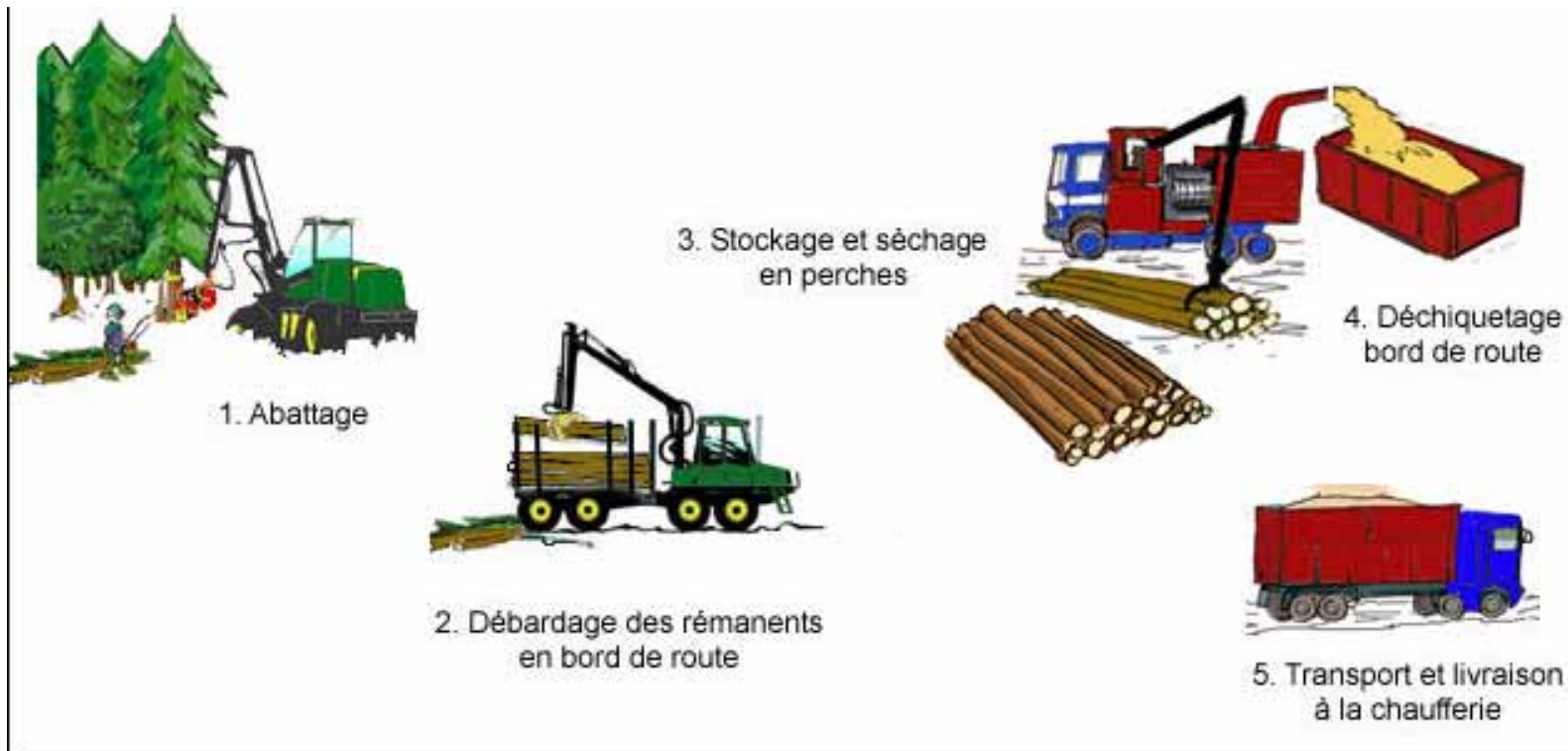
- Bas-saint-Laurent
921 000 m³ (400 000 tma)

*Données MRNF

Source de la biomasse forestière résiduelle

- Volumes de bois non attribués
- Tiges impropres au façonnage laissées en forêt
- Résidus d'ébranchage, empilage et tronçonnage
- Cimes laissées en forêt
- Bois impropres au façonnage provenant de plans spéciaux d'aménagement
- Sous-produits d'entretien ou d'éducation des peuplements ou de plantation

Production de copeaux (plaquettes) forestiers en bord de route



Caractéristiques du combustible bois

- Composition chimiques
- Granulométrie
- Taux d'humidité
- Masse volumique apparente
- Pouvoir calorifique

Composition chimique

- Carbone 49-51% (résineux >feuillus)
- Hydrogène 6.0-6.2%
- Oxygène 42-44%
- Azote 0,2-0,7%
- Soufre 0,00-0,06%
- Éléments minéraux de trace

Composition chimique - cendre

- Matières minérales contenues dans le bois 0,5 et 1,5 % (écorce 3%)
- Impuretés accrochées aux écorces
(sable, roche, terre) ?



Forte variabilité du taux de cendre

Granulométrie

- **Distribution de la taille des particules de bois**



- Masse volumique apparente
 - Moyes et coût de transport
 - Espace de stockage et de séchage
- Les technologies d'alimentation et de combustion les mieux adaptées

Granulométrie - méthodes de production

- **Déchiquetage**
 - Granulométrie plus uniforme
 - Plus sensible à la présence de contaminants

- **Broyage**
 - Granulométrie moins uniforme
 - Moins sensible à la présence de contaminants



Source: ITEBE, FERIC

Granulométrie - déchiquetage

- Copeaux déchiquetés
 - 1-3 x 0,5-1 x 0,25-0,50''
 - (2,5-7,6 x 1,3-2,5 x 0,6-1,3 cm)
- Mieux adaptées aux systèmes de petites puissance (alimentation et de combustion)



Granulométrie - spécification

Norme européenne **CEN/TC 335 (mm)**

Classe	Fraction principale (>80%)	Grosse fraction Longueur (<1%)	Fines fraction particules (<5%)
P16	$3,0 \leq P \leq 16$	>45	1,0
P45	$3,0 \leq P \leq 45$	>63	1,0
P63	$3,0 \leq P \leq 63$	>100	1,0
P100	$3,0 \leq P \leq 100$	>200	1,0

Source ITEBE 2004

Taux d'humidité

- Influence
 - Conservation du bois (stockage et perte)
 - Masse volumique
 - Pouvoir calorifique

- Calcul

Sur masse brute

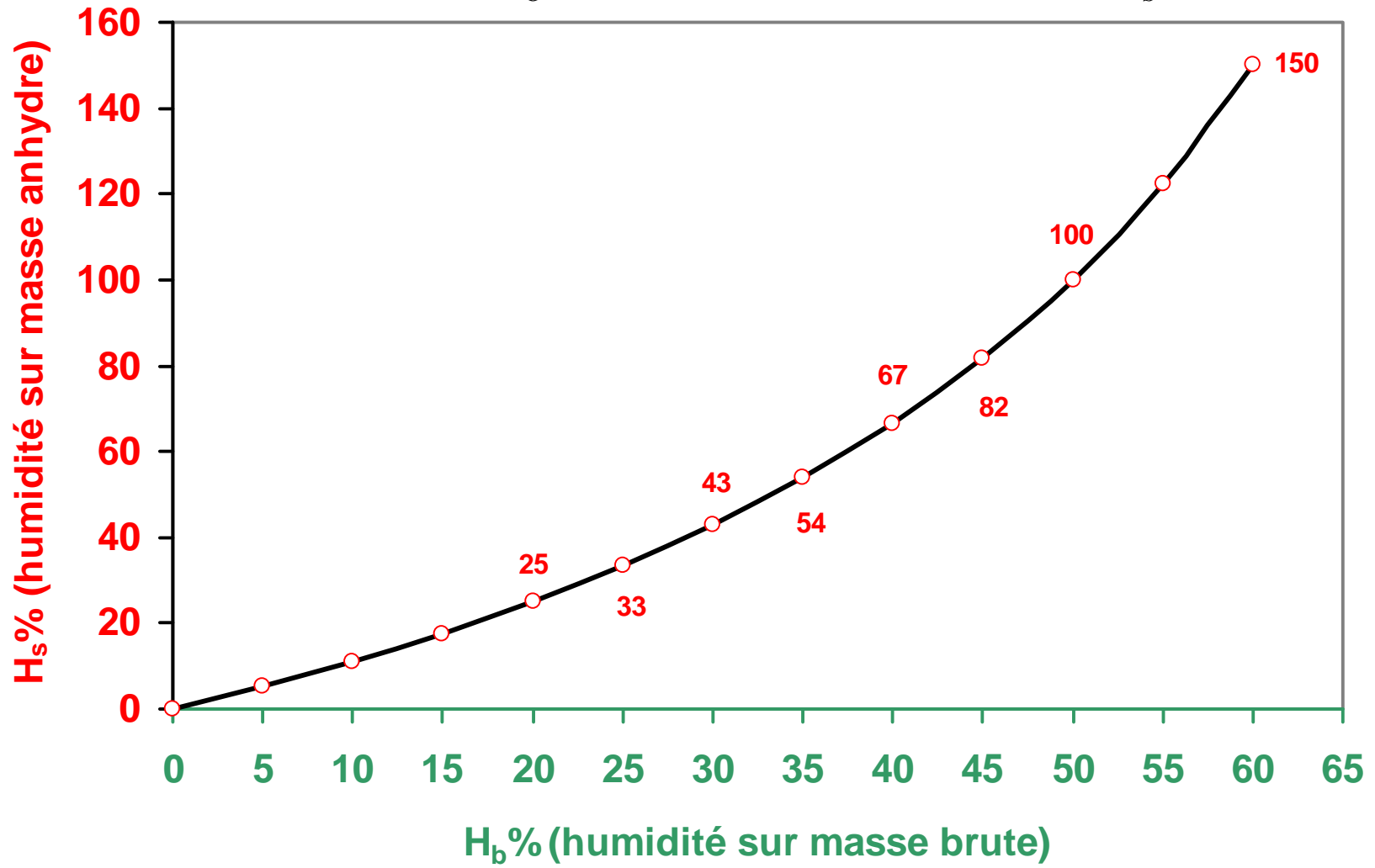
$$H_b = \frac{\text{Masse d'eau}}{\text{Masse totale du bois}} \times 100(\%)$$

Sur masse anhydre

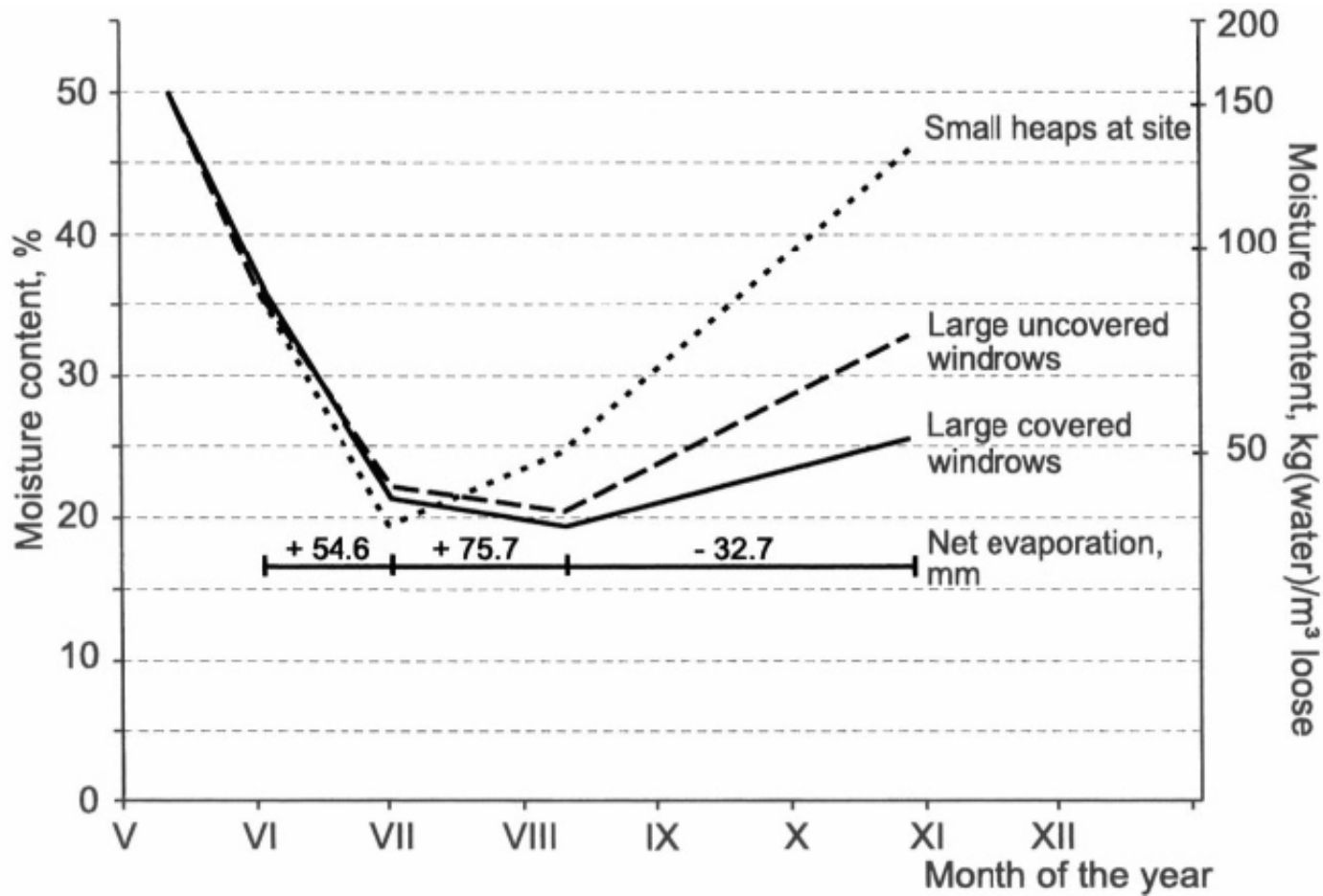
$$H_s = \frac{\text{Masse d'eau}}{\text{Masse anhydre du bois}} \times 100(\%)$$

$$H_s = \frac{100 \times H_b}{100 - H_b} (\%)$$

$$H_b = \frac{100 \times H_s}{100 + H_s} (\%)$$

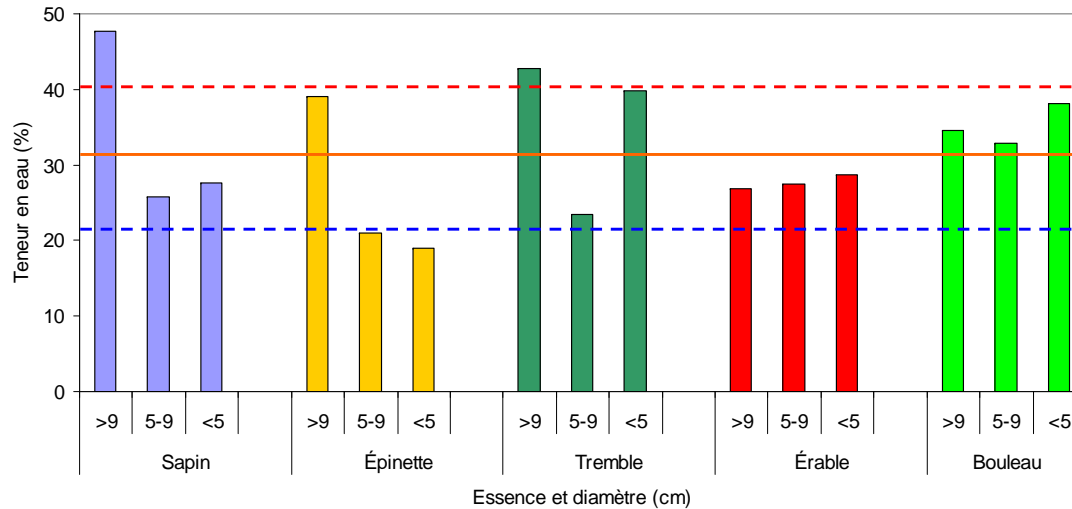


Taux d'humidité - variation

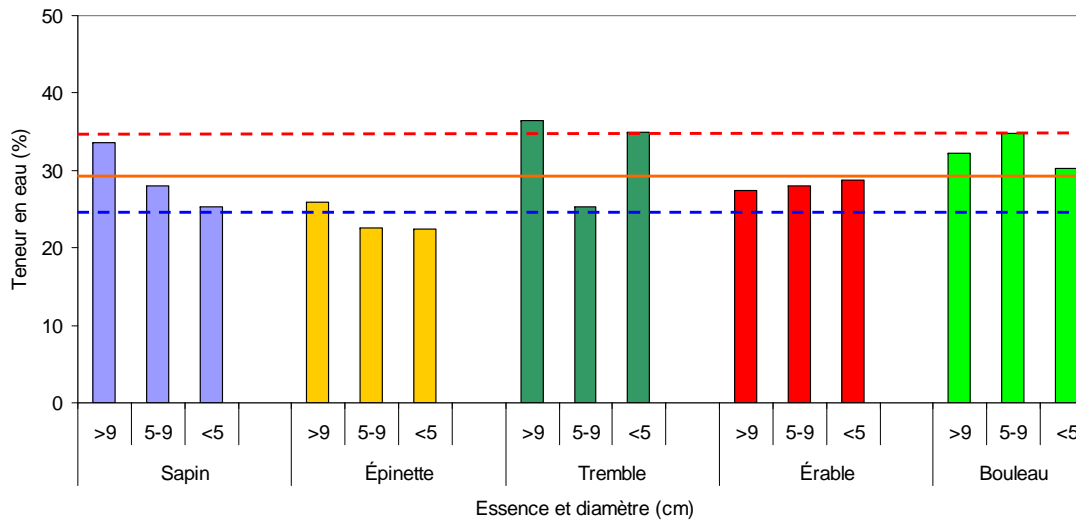


Source: Hillebrand *et al* 2000

Taux d'humidité



- **1 mois**
 - 185 échantillons
 - 20-40% (31%)
 - H plus élevée pour grosses branches



- **3 mois**
 - 146 échantillons
 - 25-35% (29%)

Masse volumique apparente (kg/MAP)

- Influence
 - Volumes de stockage
 - Coût de transport
 - Autonomie des silos de chaufferies
- Calcul
 - Masse volumique du bois solide
 - Granulométrie (facteur de foisonnement)
 - Taux d'humidité

Masse volumique apparente

Facteur de foisonnement

$$F = \frac{\text{Masse volumique du bois solide}}{\text{Masse volumique apparente des copeaux}} = \frac{MV}{MVA}$$

Combustibles bois	Granulométrie	Foisonnement
Copeaux	moyens (<60 mm)	2-3 (2,5)
Copeaux	fins (<30 mm)	2-3 (2,5)
Copeaux	Gros (<100 mm)	3
Broyat		2,5-3,5
Sciure		2-3 (2,7)
Déchet de menuiseries		6
Écorce broyée		3,3-4

Source: ITEBE 2004

Masse volumique apparente

$$MVA = \frac{MV}{F}$$

$$= \frac{1}{F} \times MV_{basale} \left(1 + \frac{H_s}{100}\right)$$

$$= \frac{1}{F} \times MV_{basale} \left(\frac{100}{100 - H_b}\right)$$

MVA Masse volumique apparente des copeaux à un taux d'humidité H_b (%)

MV Masse volumique du bois solide à un taux d'humidité H_b (%)

MV_{basal} Masse volumique basale du bois (masse anhydre/volume saturé d'eau)

Masse volumique apparente

Valeurs théoriques

Essence	MV _{basal} (kg/m ³)	MVA (kg/MAP)				
		0%	20%	30%	40%	50%
Sapin baumier	335	134	168	191	223	268
Épinette noir	406	162	203	232	271	325
Tremble	374	150	187	214	249	299
Érable rouge	516	206	258	295	344	413
Bouleau à papier	506	202	253	289	337	405

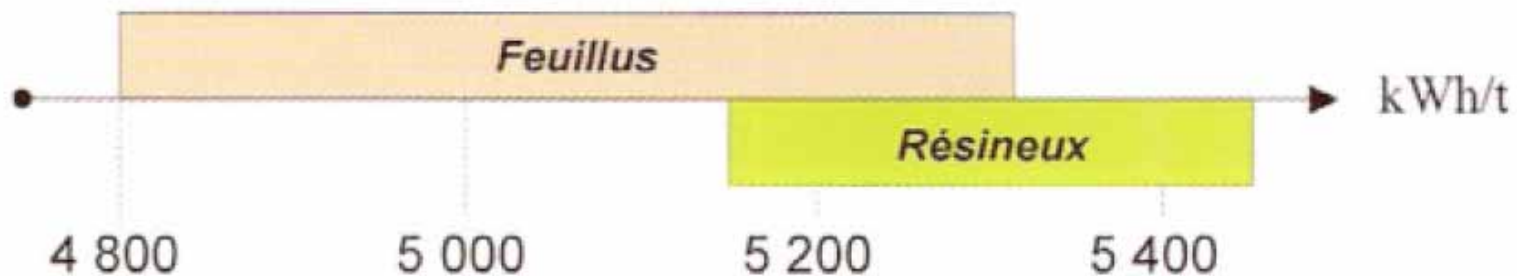
F = 2,5;

MAP: mètre cube apparent

Pouvoirs calorifiques

- PCS - pouvoir calorifique supérieur
 - l'énergie produite par la combustion d'un combustible anhydre, en prenant en compte la chaleur latente de la vapeur d'eau générée par la réaction de l'oxygène de l'air et l'hydrogène contenu dans le combustible
 - 20 MJ/kg (5,5kWh/kg).
- PCI - pouvoir calorifique inférieur
 - l'énergie produite par la combustion d'un combustible anhydre si l'on ne tient pas compte de la chaleur latente contenue dans la vapeur d'eau produite
 - 18,67 MJ/kg (5,1 kWh/kg).
- PCN - pouvoir calorifique net (PCN)
 - combustible brûlé tel quel
 - Varie grandement en fonction du taux d'humidité

Pouvoir calorifique – Influence de l'essence



- Influence de l'essences
 - PCI Résineux (5,1-5,4 kWh/kg)
 - PCI Feuillus (4,8 à 5,3 kWh/kg)
- En moyenne
 - 5,1 kWh/kg (18,67 MJ/kg)

Pouvoir calorifique – Influence du taux d'humidité

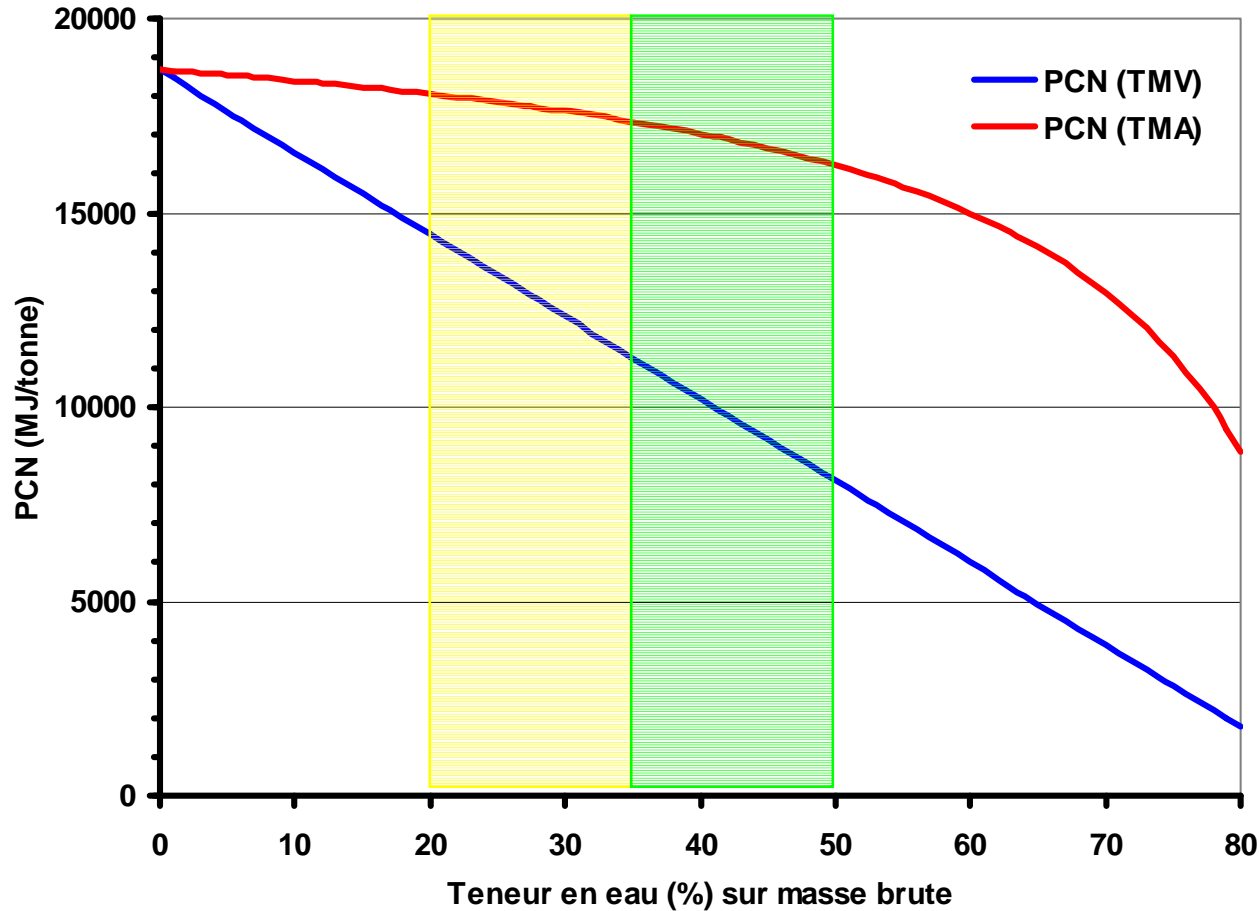
- 1 kg (masse brute) de combustible bois à H_b (%)

$$\begin{aligned} PCN &= PCI \left(1 - \frac{H_b}{100}\right) - 0,02452 H_b \\ &= 18,67 - 0,21122 H_b \text{ (MJ/kg brut)} \end{aligned}$$

- 1 kg (masse anhydre) de combustible bois à H_s (%)

$$\begin{aligned} PCN &= PCI - 0,02452 H_s \\ &= 18,67 - 0,02452 H_s \text{ (MJ/kg anhydre)} \end{aligned}$$

Pouvoir calorifique – taux d’humidité



1 TMV (MJ)

0%	18 670
20%	14 450
30%	12 330
35%	11 280
40%	10 220
50%	8 100

Conditionnement de la biomasse résiduelle et de copeaux

- Stockage et séchage avant fragmentation
 - Rémanents (en petits tas ou sans empilement) sur le parterre de coupe
 - Rémanents en tas sur le bord de la route
- Stockage et séchage après fragmentation
 - Copeaux dans un entrepôt intermédiaire (de producteurs ou d'utilisateur)
 - À l'air libre
 - Dans un hangar
 - Sous bâches

Stockage et séchage avant fragmentation



Sur le parterre

- Sans empilement
- Sans couvert
- Petites déchiqueteuses mobiles

• Avantages

- Feuillage et petits branches sur le sol
- Séchage rapide

• Inconvénients

- Reprise rapide de l'eau lors de précipitations
- Contamination
- Baisse de productivité

Stockage et séchage sur le bord de route



En tas sur le bord de route

- Sans couvert
- Film plastique ou papier goudronné
- **Avantages**
 - Séchage rapide
 - Reprise d'eau lente
 - Productivité élevée
- **Inconvénients**
 - Aménagement du terrain

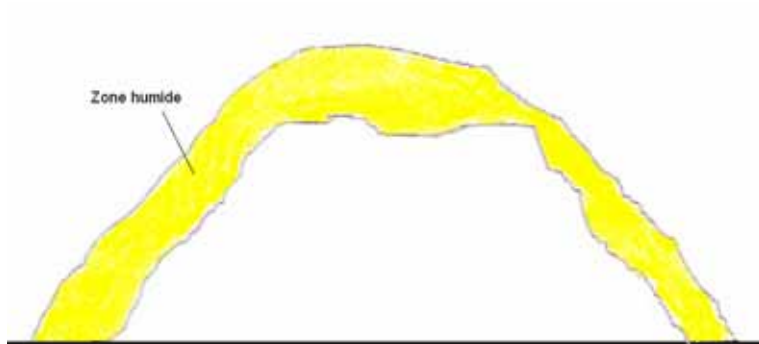
Stockage et séchage après fragmentation

- Assurer un approvisionnement continu
 - Décalage entre la production et la consommation
 - Quantité de stockage au moins 2/3 de la consommation annuelle (1 MW, 1000 TMA/an)
- Abaisser la teneur en eau des copeaux (par fermentation)
 - Séchage à l'air libre
 - Séchage sous abri

Stockage et séchage à l'air libre



- >2000 m³
- Couche superficielle humide (30-60 cm)
- Contamination par du sable, des roches, de la terre, etc
- Chaudières de grandes puissances



Source: ITEBE

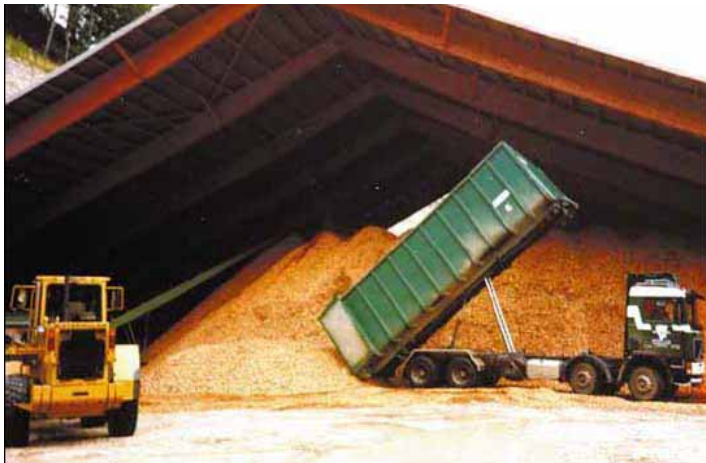
Stockage et séchage sous bâches



- Bâche agricole
 - Totalemment imperméable
 - Taux d'humidité reste constante
 - Copeaux secs (<35% H)
- Bâche respirante
 - Imperméable à l'eau mais perméable à l'air
 - Séchage (de 40% à 25% en 2-3 mois)
 - Copeaux secs ou humides
 - Coût 4-5 fois plus élevé
 - Bâche imperméable
- Manutention
 - labourieuse en hiver (neige, vent)

Source: Bois-énergie 66

Stockage et séchage sous hangar



- Séchage (de 40% à 25% en 2-3 mois)
- Copeaux secs ou humides
- Manutention moins laborieuse (vs. bâche)
- Coût d'investissement élevé
 - 50-200 \$/m²
 - 3-12 \$/TMA

Source: ITEBE

Séchage avant vs. après fragmentation

Avant fragmentation

- Évaporation d'eau par processus physique
- Peu de perte en matière sèche
- Diminution du coût de transport en utilisant au maximum le volume d'un véhicule de transport
- Report des frais de déchiquetage
- Plus de fines particules si l'humidité est inférieure à 23-30%

Après fragmentation (copeaux humides)

- Évaporation d'eau par fermentation, risque d'auto-ignition dû au dégagement de la chaleur de fermentation
- 5-10% de perte en matière sèche suivant l'humidité initiale et le temps de stockage

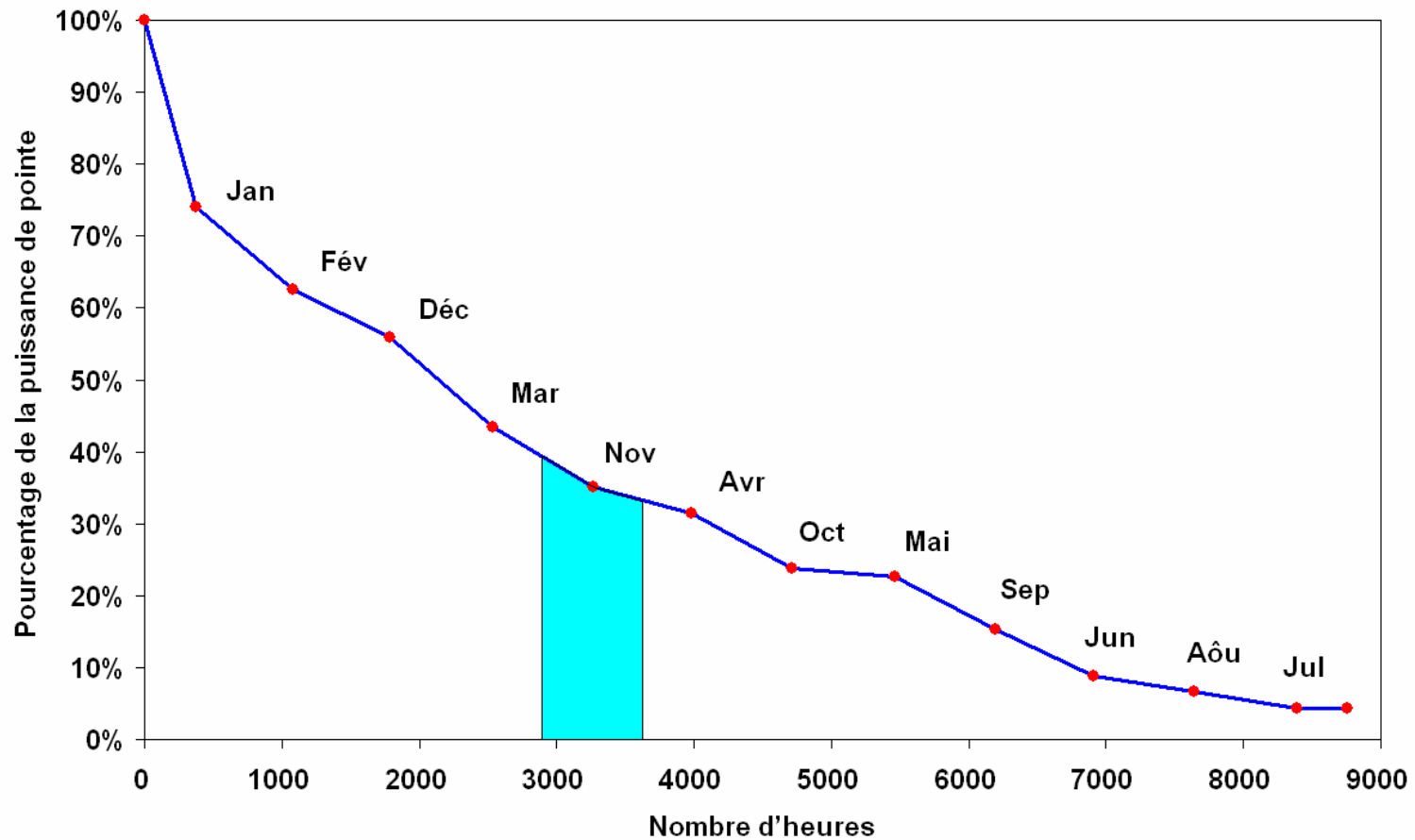
Gestion de l'approvisionnement

coordonner les activités de fourniture et la demande en biocombustible

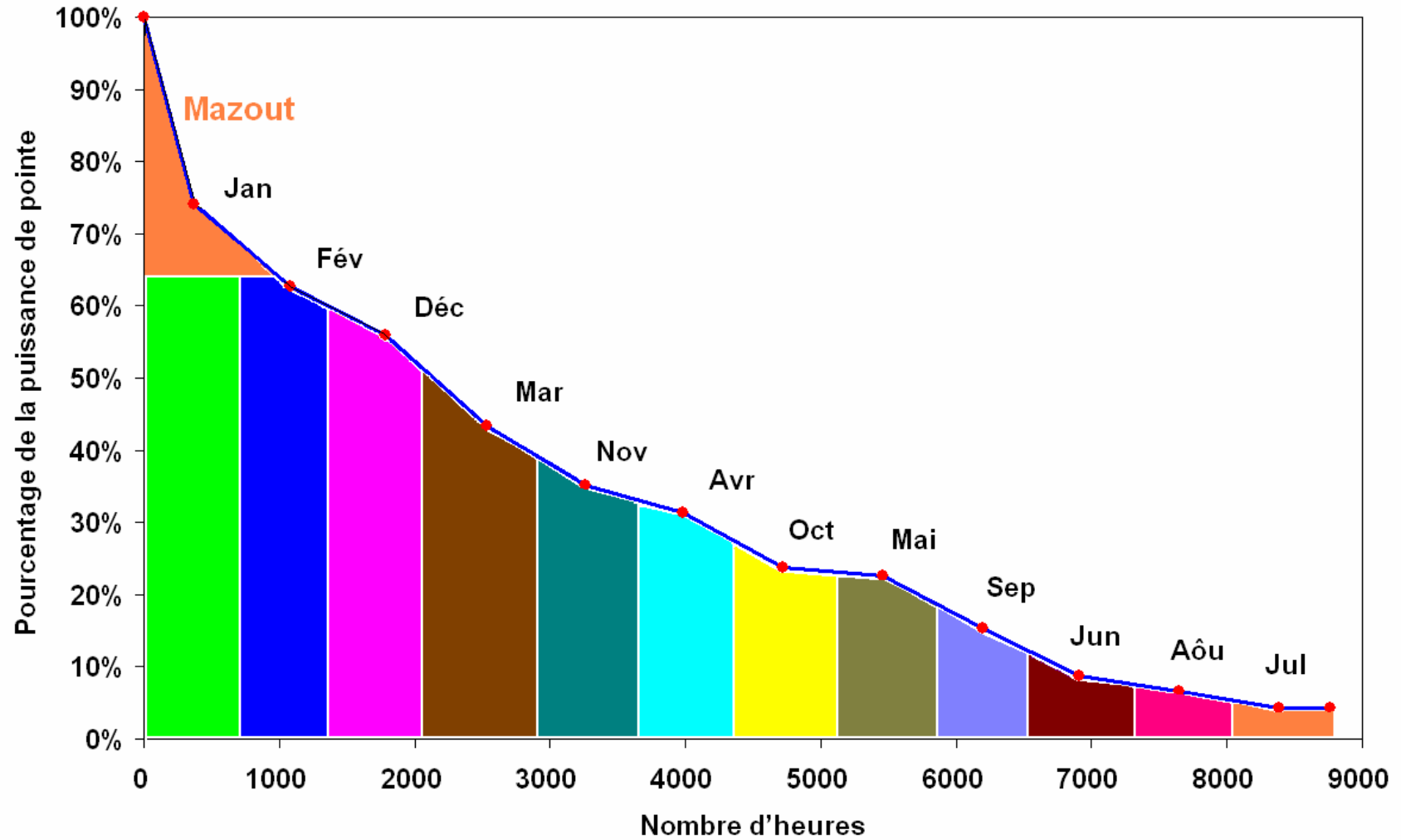
- **Chaufferie à la biomasse**
 - Système à la biomasse
 - Système de pointe (bio, mazout, électricité)
- **Quantité de consommation annuelle M_{bois}**
 - Demande énergétique totale (toutes sources d'énergie confondues) Q
 - Données historiques
 - Modèle RETScreen (ou autres)
 - Proportion de la biomasse ($Q_{bois} = 70-95\%Q$)
 - Dimensionnement de chaufferies
 - Puissance de pointe (P_{max})
 - Puissance du système à la biomasse (40-70% de P_{max})

$$M_{bois} = \frac{Q_{bois}}{PCN \times \eta_{bois,rs}}$$

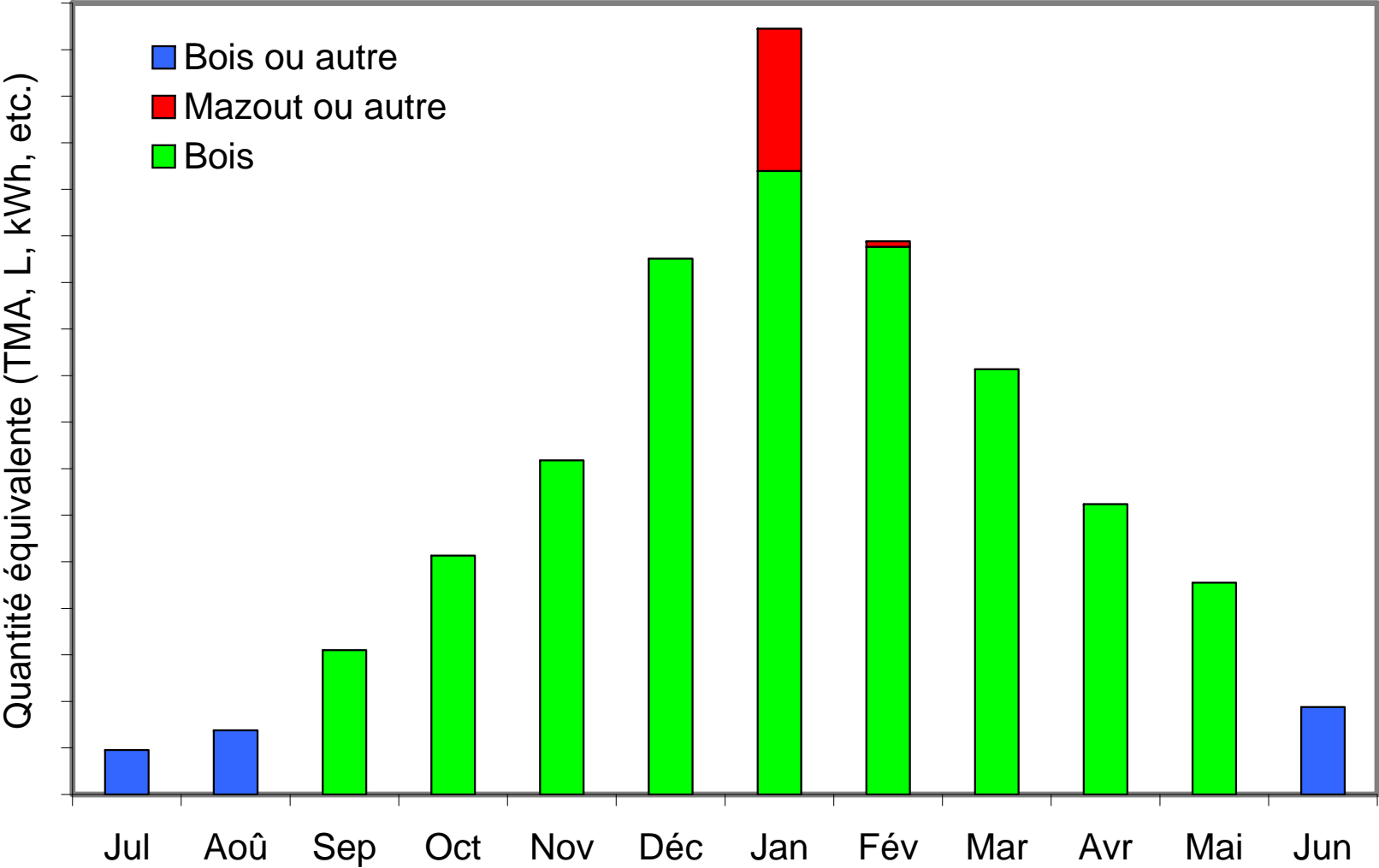
Gestion de l'approvisionnement



Répartition de la demande en énergie



Répartition de la quantité de combustibles



CONCLUSIONS

- **CARACTÉRISATION**

- Composition chimiques (essence, partie de bois, contaminants)
- Granulométrie (Gros, fin, moyenne)
- Taux d'humidité (sec 20-30%, humide 35-50%)
- Masse volumique apparent (0,4 masse volumique solide)
- Pouvoir calorifique (12,3-14,5 MJ/kg; 3,4-4,0 kWh/kg; 20-30% H_b)

- **STOCKAGE ET SÉCHAGE**

- Avant fragmentation en bord de route ou sur le parterre
- Après fragmentation sous abri (hagard, bâche)

- **GESTION D'APPROVISIONNEMENT**

- Quantité annuelle
- Répartition de la consommation