



Quantification des stocks de biocombustibles dérivés du bois



Février 2023
version amendée

Table des matières

Préambule	2
1. Taux d'humidité	2
2. Volumes : calcul et estimation	3
2.1. Cubage en volume plein	3
2.2. Estimation du volume réel (volume plein) à partir du volume d'encombrement (volume apparent)	4
2.2.1. Volume d'encombrement	5
2.2.2. Coefficients de conversion et de foisonnement	7
3. Masses volumiques des essences guyanaises : valeurs pour quelques taux d'humidités de référence et paramètres de calcul	10
4. Eléments de comparaison : masse d'un m³ apparent des principaux biocombustibles dérivés du bois d'Angélique à 45% d'humidité sur brut.	13
5. Exemples de calculs de masse pour quelques cas de figures classiques	13
5.1. Container de collecte de chutes de délignage (lot 1)	13
5.2. Benne de copeaux (lot 2)	13
5.3. Silo de plaquettes de scierie (lot 3)	14
5.4. Tas de sciures sur parc de scierie (lot 4)	14

Préambule

A l'exception du bois bûche pour lequel l'unité traditionnelle de vente est une unité de volume, le stère¹, tous les autres biocombustibles dérivés du bois sont vendus à la tonne. L'adoption de cette unité pour régir les transactions est logique puisque le pouvoir calorifique (potentiel énergétique) de ces biocombustibles et donc leur valeur au regard de la production énergétique dépendent étroitement :

- de leur masse, soit de la composition chimique du bois dont ils sont issus et en particulier de sa teneur en carbone,
- et de leur teneur en eau, puisqu'une partie de l'énergie lors de la combustion du bois sera utilisée pour transformer l'eau en vapeur.

A de très rares exceptions près, les stocks de biomasse à vocation énergétique doivent donc être établis en tonnes, avec la précision de leur teneur en humidité.

Les producteurs ne disposant pas, sauf cas exceptionnel, de bascule pour effectuer une pesée de chaque lot constitué et stocké sur parc, les stocks pourront être estimés à partir de la formule suivante, issue de la définition de la masse volumique ρ :

$M_{H\%} = (V_{H\%} \times \rho_{H\%}) \times 10^{-3}$, avec :

$M_{H\%}$ masse recherchée d'un lot de biocombustible donné, exprimée en tonnes ;

$H\%$, son taux d'humidité ;

V , le volume de bois plein du lot considéré en m^3 au taux d'humidité de $H\%$;

$\rho_{H\%}$, sa masse volumique en kg/m^3 au taux d'humidité de $H\%$.

1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité, exprimé en %, représente la masse d'eau contenue dans le bois par unité de masse du bois. Cette masse de référence est différente, par convention, pour le bois énergie et pour le bois d'œuvre, il est donc important de bien préciser le référentiel utilisé lorsque l'on formalise un taux d'humidité.

Pour le bois-énergie, ce taux est calculé par rapport à la masse brute, masse du bois au taux d'humidité considéré (eau + bois anhydre), on parle de taux d'humidité sur masse brute et par extension de taux d'humidité sur brut ($H_b\%$)

$H_b \text{ \% base humide} = (\text{Masse d'eau du bois en Kg}) \times 100 / \text{Masse totale du bois (eau + bois en Kg)}$

Dans l'industrie du bois, le taux d'humidité est calculé par rapport à la masse anhydre, il est couramment appelé taux d'humidité sur sec (H_a)

$H_a \text{ \% base anhydre} = (\text{Masse d'eau du bois en Kg}) \times 100 / \text{Masse anhydre en Kg}$

Relation entre ces deux taux d'humidité :

$H_a = H_b \times 100 / (100 - H_b)$

$H_b = H_a \times 100 / (100 + H_a)$

Pour la bonne compréhension de ce document, les principaux termes généraux relatifs à l'humidité du bois sont définis comme suit (EN 844) :

Bois vert : bois fraîchement abattu, n'ayant subi aucun processus de séchage et dont le taux d'humidité est très proche voire identique à celui de l'arbre sur pied.

Bois ressuyé : bois ayant subi un processus de séchage sans toutefois avoir atteint le point de saturation des fibres.

Bois sec à l'air : bois ayant une teneur en humidité sensiblement en équilibre avec les conditions atmosphériques naturelles environnantes. En règle générale, cette teneur avoisine les 20%.

¹ un stère correspond au volume d'un empilement de bûches de 1 m de long, sur 1m de haut et 1 m de large
L'appellation « stère » ne doit plus être utilisée depuis décembre 1977, elle doit désormais être remplacée par « volume apparent »

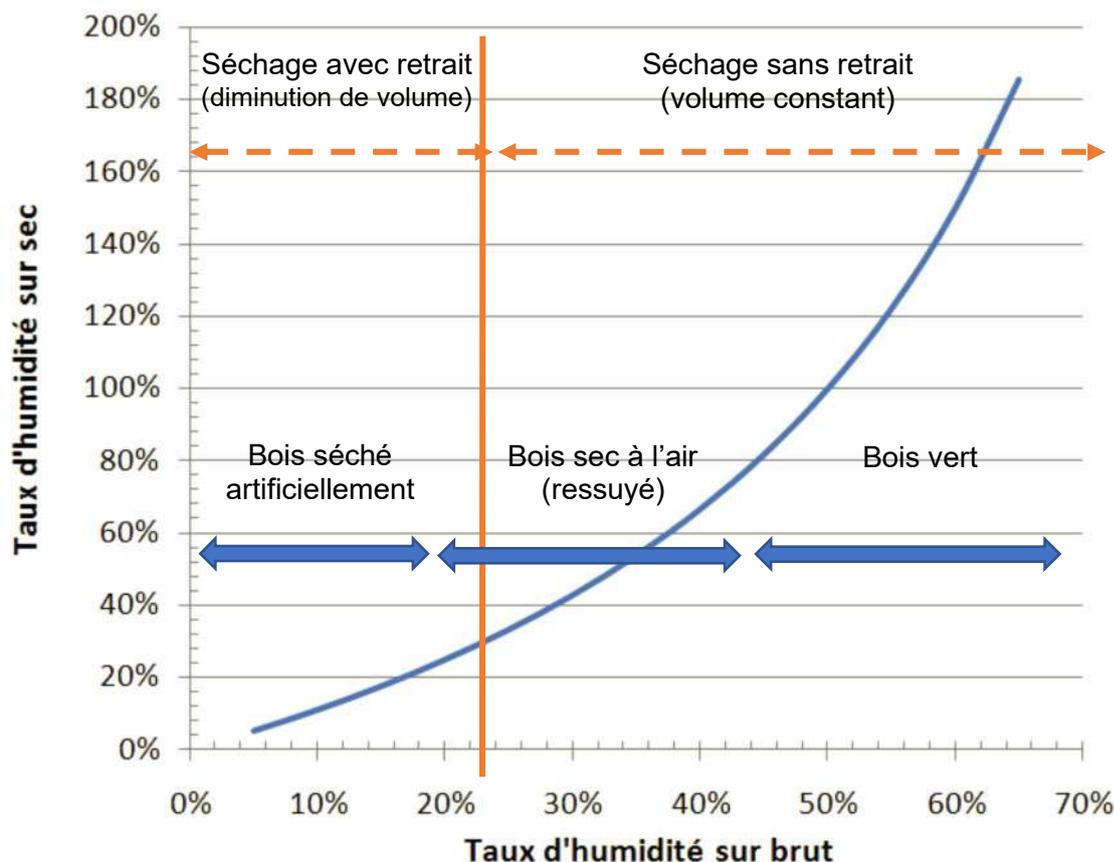


Figure 1 – Correspondances entre taux d'humidité sur brut et sur sec

Le bois étant un matériau poreux, l'eau occupe les vides laissés dans les cellules, on parle d'eau libre car son élimination (ressuyage et séchage) ne nécessite pas un apport énergétique important. Son départ ne génère aucune variation dimensionnelle du bois (retrait). L'eau contenue entre les structures moléculaires des parois des cellules, eau de constitution ou eau liée, ne sera éliminée qu'après séchage en étuve. Son départ génère des retraits, dès que le taux d'humidité du bois se situe en dessous du point de saturation des fibres (Psf), qui se situe aux alentours de 30% (sur sec) pour une large majorité d'essences de bois.

Le taux d'humidité du bois influence la quantité de chaleur fournie lors de la combustion : plus le taux d'humidité est faible, plus le pouvoir calorifique est élevé mais également, et ce n'est pas négligeable, plus le produit est stable au stockage.

2. Volumes : calcul et estimation

Selon que l'on considère le volume réel d'une pièce massive de bois (billes, billons, poutres, etc.) ou le volume d'encombrement d'un empilement/tas de bois et produits dérivés, on parlera respectivement du volume plein (volume réel) ou du volume apparent.

2.1. Cubage en volume plein

Chaque fois que cela est possible (pièces de bois massif, grumes ou bois ronds et sciages), un cubage en volume plein doit être pratiqué. Il est effectué pour chaque ensemble de pièces de même longueur, par lot, en multipliant le volume unitaire moyen par le nombre de pièces du lot.



Pour les grumes, le mesurage et le calcul du volume plein est réalisé en conformité avec la norme NF B53-020 « Cubage des bois ronds et assimilés » :

- ✓ la longueur est mesurée ou estimée le plus précisément possible et exprimée en mètres et fractions de 50 cm ;
- ✓ le diamètre moyen du lot est estimé à partir de la moyenne de mesures multiples, sur écorce, sur l'ensemble considéré et exprimé en multiple de 5 centimètres, arrondi à la valeur inférieure ;
- ✓ le volume est alors calculé en utilisant la formule : $V = \pi \times D_m^2 \times L \times N / 4$, où : L est la longueur commerciale en mètre, D_m le diamètre moyen de la pièce en mètre, N le nombre de pièces du lot, la valeur adoptée pour $\pi/4$ étant 0,7854 (cf. exemple figure 2). Il est exprimé en mètres cubes, suivi de trois décimales.

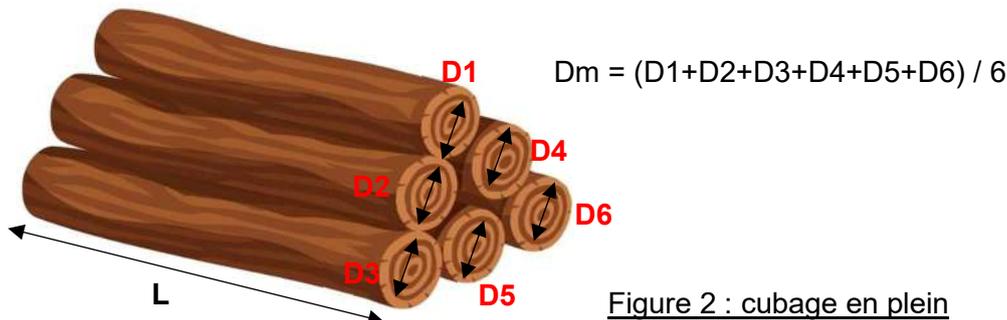


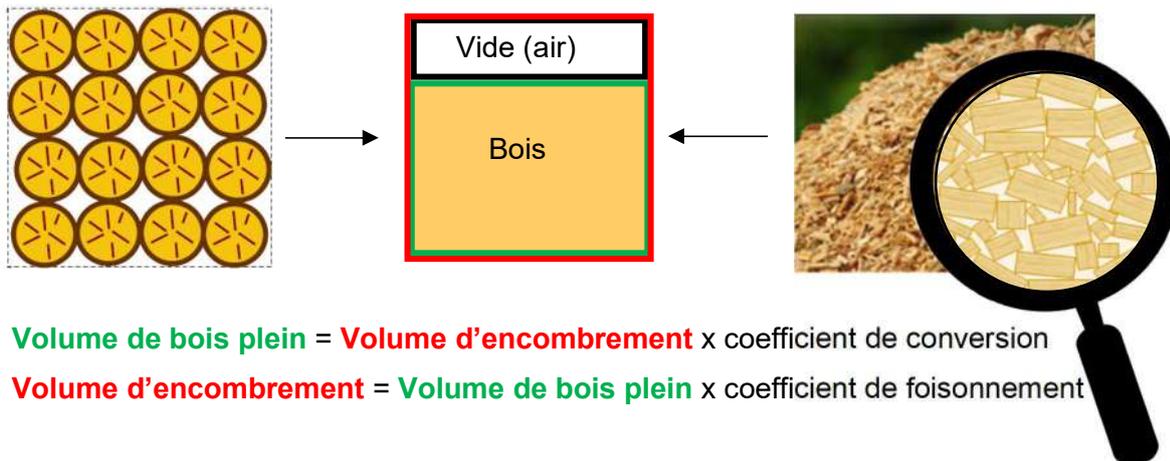
Figure 2 : cubage en plein

2.2. Estimation du volume réel (volume plein) à partir du volume d'encombrement (volume apparent)

Lorsque le nombre de pièces d'un lot n'est pas quantifiable (accès difficile, stockage en vrac, forte fragmentation), le volume d'encombrement est calculé à partir des mesures des paramètres permettant d'évaluer l'encombrement constaté.

Le volume réel (volume de bois plein) est ensuite calculé en multipliant le volume d'encombrement par un coefficient de conversion, toujours inférieur à 1, prenant en compte la proportion de vide suivant l'état du bois dans le produit concerné et son conditionnement.

On distingue deux grands cas de figure : les bois massifs (buches, billons) et les produits fragmentés ou granulaires tels que les plaquettes ou les sciures. Ces derniers sont également qualifiés de « foisonnants », le foisonnement étant l'augmentation du volume occupé suite à la fragmentation par inclusion d'air ou éventuellement d'eau. Pour ces produits, on parle alors de coefficient de foisonnement, rendant compte de l'augmentation de volume, inversement proportionnel au coefficient de conversion.



Volume de bois plein = **Volume d'encombrement** x coefficient de conversion

Volume d'encombrement = **Volume de bois plein** x coefficient de foisonnement

2.2.1. Volume d'encombrement

2.2.1.1. Cas des pièces de bois massives

Dans la quasi-totalité des cas, le volume d'encombrement (V_e) est estimé par le calcul du volume d'un parallélépipède rectangle (empilement – cf. figure 3) ou de la somme des parallélépipèdes rectangles permettant de reconstituer l'emprise totale du lot considéré (cf. figure 4)

Pour les bois ronds, il doit être effectué suivant les directives formalisées dans le paragraphe 5.3 de la norme NF B53-020 et exprimé en mètres cubes avec une décimale arrondie par défaut

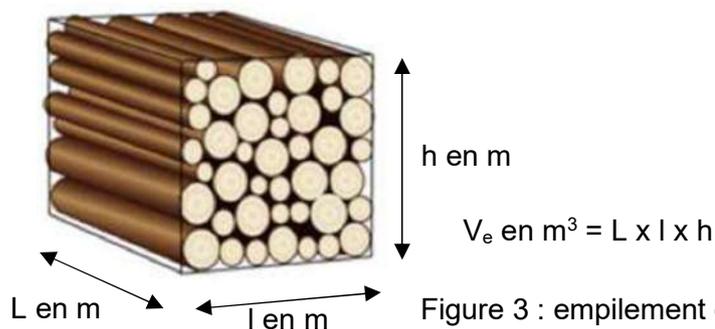


Figure 3 : empilement de forme parallélépipédique



Figure 4 : approche du volume d'encombrement d'un lot de chutes de délignage

2.2.1.2. Cas des produits fragmentés

Si ces produits, plaquettes, sciures ou copeau, sont stockés dans des bennes, le volume d'encombrement est celui de ce contenant corrigé par son taux de remplissage. On ne considèrera pour la suite que le cas le plus général soit celui d'un stockage en tas sur parc.

Quelques notions théoriques

Les plaquettes, comme les sciures ou encore les copeaux, sont des matériaux granulaires, c'est-à-dire constitués d'un ensemble de grains macroscopiques solides, assez larges pour que leurs interactions génèrent des frottements. En mouvement, ils ne coulent pas comme des liquides mais glissent en avalanches irrégulières. Déversés, ils finissent sous l'effet de la pesanteur par former un tas conique. Les grains qui arrivent sur le sommet se déversent par saccades sur les flancs du tas, qui s'agrandit tout en gardant le même angle limite par rapport à l'horizontale. Cet angle, dit angle de repos ou angle de talus, équivalent à un angle de frottement entre les couches de grains, reste ainsi le même quelle que soit la taille du tas. Cet angle est une propriété intrinsèque d'un matériau granulaire donné, même si leur disposition est anarchique une pente formée de ces grains sera toujours inférieure à l'angle de repos.

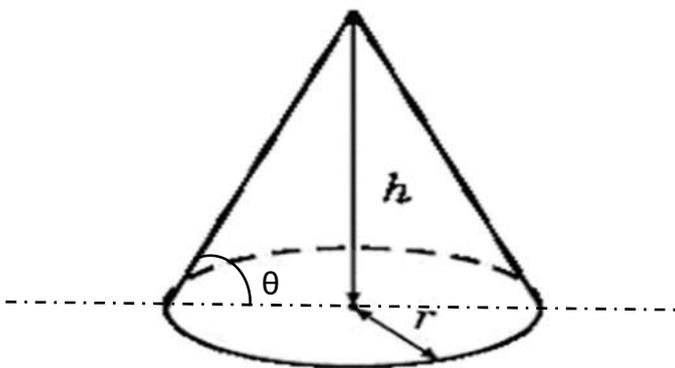
Pour un tas de billes de verre, l'angle de repos est de l'ordre de 22° ; pour le sable sec, il est autour de 30° ; pour un talus d'enrochements, il peut atteindre 45°. Aucune valeur d'angle de repos pour les biocombustibles granulaires dérivés du bois n'est avancée dans la littérature. Si besoin, Il peut être atteint sur parc, pour un produit donné :

- ✓ en laissant les grains se déverser à partir d'un contenant de stockage, de type benne ;
- ✓ en inclinant progressivement un lit de grains initialement à l'horizontale ;
- ✓ en poussant les grains avec un bulldozer.

Quelle que soit la méthode utilisée, on retrouve toujours à la fin un angle de repos, de valeur quasi-identique et qui ne dépend que du produit considéré.

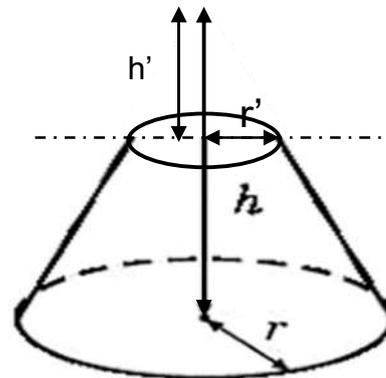
De la théorie à la pratique :

Il est possible d'estimer l'encombrement de tas de plaquettes ou sciures par le calcul du volume d'un cône dans lequel s'inscrit ce tas, si le rayon de l'embase circulaire (r) et la hauteur du cône (h) peuvent être mesurés ou estimés avec une bonne précision (cf. figure 5). Si ce tas est arrasé, on utilisera la formule de calcul d'un volume tronconique (cf. Figure 6).



$$V_e \text{ en m}^3 = (r^2 \times h) \times \pi / 3$$

Figure 5 : tas de forme conique



$$V_e \text{ en m}^3 = (r^2 \times h - r'^2 \times h') \times \pi / 3$$

Figure 6 : tas de forme tronconique

On pourra prendre pour $\pi / 3$ la valeur de 1,0472.

Comme pour les chutes de délignage, si le lot considéré est constitué par des tas multiples imbriqués, on sommerá les volumes des différents cônes ou troncs de cône composant l'emprise du lot considéré.



Figure 7 : approche du volume d'encombrement d'un lot de plaquettes et/ou de sciures

Si le rayon de la base du cône ou sa hauteur ne peut être mesuré ou estimé avec une précision suffisante, la connaissance de l'angle de repos θ permet de calculer la valeur du paramètre manquant, à partir de la formule suivante :

$\tan(\theta) = h / r$, d'où $h = r \times \tan(\theta)$ et $r = h / \tan(\theta)$ avec \tan = tangente

A titre informatif, et sans que cette plage de valeurs puisse être considérée comme la valeur caractéristique de l'angle de repos des biocombustibles granulaires dérivés des bois de Guyane, les angles de repos des tas de la figure 7 sont compris entre 30° et 32° .

2.2.2. Coefficients de conversion et de foisonnement

Ces coefficients sont issus de pratiques traditionnelles et expérimentales. Il n'existe pas un seul et unique coefficient pour chaque catégorie de biocombustible dérivé du bois. Quelle que soit la catégorie de produits considérée, de nombreux paramètres ont une influence sur sa valeur, leur prise en compte peut permettre de mieux sélectionner la valeur ou la plage de valeurs du coefficient à retenir pour estimer un stock parmi celles formalisées dans le tableau N°1 ci-après.

2.2.2.1. Cas des pièces massives de bois

L'usage du bois pour le chauffage et le « stockage » traditionnel pratiqué pour le bois de chauffe ou bois-bûches, nous ont apporté de nombreuses informations sur les coefficients de conversion à adopter et les facteurs qui influencent leur valeur dans le cas d'empilement.

Ainsi, le volume réel de bois dans une pile est d'autant plus faible que les billons sont :

- ✓ de petits diamètres ;
- ✓ long, flexueux et mal empilés.

A partir d'exemples concrets d'empilement, les figures 8 et 9 illustrent, l'influence du diamètre sur le volume réel de bois, la figure 10 celle de la longueur.

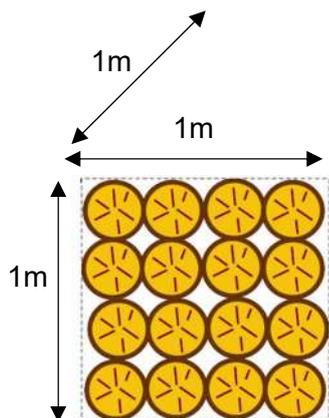


Figure 8 :

Un volume apparent de 1 m³ de rondins de Ø 23 cm contient réellement 0,68 m³ de bois.

Coefficient de conversion : 0,68

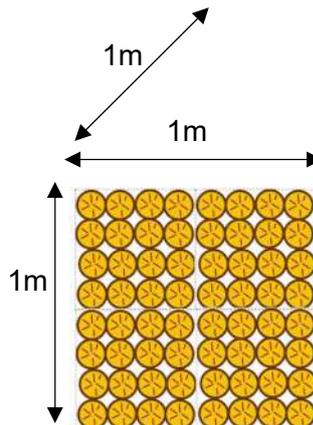


Figure 9 :

Un volume apparent de 1 m³ de rondins de Ø 5 cm contient réellement 0,44 m³ de bois.

Coefficient de conversion : 0,44

Lorsque les rondins de 1m d'un empilement de volume apparent de 1m³ sont recoupés (ici en billons de 33, 45 ou 50 cm), ils occupent moins d'espace une fois rangés (cf. figure 10)

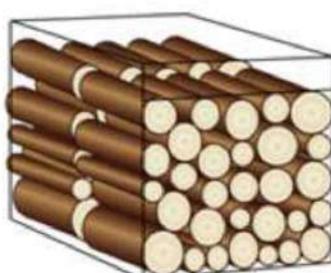
Figure 10 : Influence de la longueur sur le coefficient de conversion - exemples

Billons de 1 m



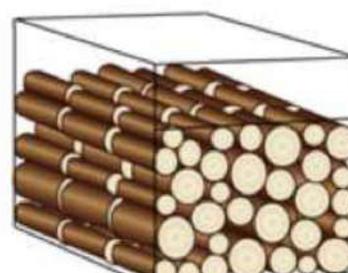
Volume apparent 1m³

Billons de 50 cm



Volume apparent 0,8 m³

Billons de 33 cm



Volume apparent 0,7 m³

Le coefficient de conversion souvent adopté pour des lots de grumes ou billons est celui communément cité dans la littérature pour définir un stère, soit 0,71 (1 m³ de bois plein correspond à 1,4 m³ de bois empilé ou apparent).

2.2.2.2. Cas des produits fragmentés

Le volume apparent de ces produits (sciures copeaux et plaquettes) peut varier sensiblement en fonction :

- ✓ du tassement ;
- ✓ de la granulométrie ;
- ✓ du taux d'humidité.

Tableau 1 : synthèse des coefficients de conversion et de foisonnement, par catégorie de biocombustibles, fournis par la littérature

Produits		Coef. de foisonnement	Coef. De conversion	Sources
Billons	Longueur de 1 m	1,3 à 1,6	0,62 à 0,77	Mémento 2020 FCBA
	Longueur de 2 m 	1,4 à 2,0	0,50 à 0,71	
Sciures		2,0 à 3,0	0,33 à 0,50	Aide-mémoire du fournisseur de bois énergie – CCI Gard & Lozère 2 ^{ème} édition 2010
Plaquettes	Fines 	2,0 à 2,2	0,45 à 0,50	
	Moyennes 	2,60 à 2,80	0,36 à 0,38	
	Grossières 	3,00	0,33	
Chutes de délignage (vrac non rangé)		2,00	0,5	Manuel de l'Ingénierie Bois AIESB ED. Eyrolles 2013 chapitre 33 « Bois, source d'énergie » Gilles NEGRIE et Raymond ALBERO
Copeaux et sciures (2^{ème} transfo.)		5,0 à 6,0	0,17 à 0,20	Aide-mémoire du fournisseur de bois énergie CCI Gard & Lozère 2 ^{ème} édition 2010

3. Masses volumiques des essences guyanaises : valeurs pour quelques taux d'humidités de référence et paramètres de calcul

La masse volumique du bois, ρ , exprimée en kg/m^3 , représente la masse du bois par unité de volume. Elle varie en fonction de l'essence, de manière générale les résineux sont moins denses que les feuillus, et de la teneur en eau du bois. Il est donc impératif de toujours préciser le taux d'humidité pour lequel elle est établie.

$$\rho_H = M_H/V_H$$

où M est la masse exprimée en kg et V le volume en m^3 , au taux d'humidité H considéré.

Les valeurs des masses volumiques des essences guyanaises du bois vert et du bois sec à 12% d'humidité sur sec ainsi que les paramètres nécessaires au calcul de leur masse volumique à un taux d'humidité donné, sont formalisées dans le tableau 2. Ces données sont issues de la base de données d'essais du CIRAD ou calculées à partir des formules d'extrapolation établies grâce à cette dernière.

Le calcul de la masse volumique au taux d'humidité H% (sur sec), H% étant supérieur au point de saturation des fibres s'effectue à partir de la formule suivante :

Pour une essence donnée :

$$\rho_H = (\rho_{12} \times (100 + H) \times (100 + v \times 12)) / ((100 + 12) \times (100 + v \times \text{Psf}))$$

avec :

H : son taux d'humidité sur sec, exprimé en %

ρ_{12} : sa masse volumique à 12% d'humidité sur sec en Kg/m^3

v : son coefficient de rétractabilité volumétrique total, exprimé en %

Psf : son taux d'humidité, sur sec, de saturation des fibres ou point de saturation des fibres, exprimé en %.

Si l'on souhaite établir une masse volumique de « référence » pour un mélange d'essences guyanaises représentatif de la récolte, le calcul peut être effectué à partir de la moyenne, pondérée par leur fréquence, des masses volumiques des essences commerciales majeures à un taux d'humidité donné. Le taux d'humidité contractuel de transaction pour le bois énergie étant communément arrêté à 45% d'humidité sur brut, soit 81,82 % d'humidité sur sec, un exemple de calcul a été effectué pour ce taux, le résultat est détaillé dans le tableau ci-après. Cette approche par le calcul peut être adaptée en prenant en compte le mélange d'essences composant les stocks et le taux d'humidité sur brut contractuel.

Essences	ρ_{12}	v en %	Psf en %	ρ_{45} sur brut	Fréquence en %*
Angélique	790	0,55	29	1 179,06	54
Gonfolos	730	0,53	31	1 082,58	12
Grignon franc	660	0,54	29	986,40	7
Balata franc	1100	0,75	27	1 618,67	4
Wapas	880	0,40	29	1 341,54	3
Jaboty	600	0,57	30	888,69	2
Amarante	870	0,58	23	1 332,85	1

*fréquence moyenne dans les ventes de bois sur pieds par l'ONF au cours des 3 dernières années

ρ_{45} sur brut moyen pondéré = $(54 \times 1.179,06 + 12 \times 1.082,58 + 7 \times 986,40 + 4 \times 1.618,67 + 3 \times 1.341,54 + 2 \times 888,69 + 1 \times 1.332,85) / (54 + 12 + 7 + 4 + 3 + 2 + 1)$ soit : **1.160,10 kg/m^3 ou 1,16 tonnes/ m^3 .**

En absence de système de pesée, l'estimation, en tonne, du poids d'un lot de bois énergie d'un mélange d'essences guyanaises, à 45% d'humidité sur brut, peut être raisonnablement effectuée en multipliant son volume de bois plein en m^3 par un coefficient de 1,16.

Tableau 2 : masses volumiques du bois des essences guyanaises aux taux d'humidité de référence (anhydre, vert et sec à 12%) et paramètres de calcul

Avec :

ρ_0 : masse volumique anhydre (à 0% d'humidité sur sec) en kg/m³

ρ_{12} : masse volumique à 12 % d'humidité sur sec en kg/m³

ρ vert : masse volumique du bois vert en kg/m³ au taux d'humidité H% vert (sur sec)

$\rho_{45 \text{ sur brut}}$: masse volumique du bois à 45% d'humidité sur brut (81,82% sur sec)

H vert : taux d'humidité, sur sec, du bois vert (fraichement abattu) en %

Psf : point de saturation des fibres (sur sec) en %

v : coefficient de retrait volumique total en %

Essences	ρ_0	ρ_{12}	ρ vert	$\rho_{45 \text{ sur brut}}$	H vert	Psf	v
Acacia franc	795	830	1 068	1 248	55	26	0,61
Acajou de Guyane	427	460	777	706	104	30	0,33
Achiwa kouali	495	520	835	769	94	31	0,55
Aieoueko	677	710	987	1 067	68	27	0,57
Alimiao	755	800	1 049	1 238	58	23	0,47
Amarante	831	870	1 093	1 333	52	23	0,58
Amourette	1 168	1 200	1 287	1 834	29	21	0,75
Anangossi	895	930	1 130	1 400	47	25	0,65
Angélique	752	790	1 042	1 179	59	29	0,55
Assao	575	610	912	918	80	30	0,46
Bagasse	759	800	1 049	1 250	58	20	0,52
Balata blanc	713	750	1 015	1 116	63	30	0,54
Balata franc	1 071	1 100	1 230	1 619	35	27	0,75
Balata pomme	716	750	1 015	1 109	63	30	0,58
Bamba apici	1 003	1 050	1 201	1 553	38	30	0,58
Boco	1 279	1 300	1 345	1 973	25	21	0,85
Bois grage	617	650	943	970	75	30	0,52
Bois rouge	907	950	1 142	1 405	45	30	0,58
Bois serpent	998	1 030	1 189	1 514	39	28	0,71
Bougouni	620	660	951	1 002	74	29	0,43
Canari macaque	951	1 000	1 172	1 488	41	30	0,54
Carapa	638	670	958	1 010	73	27	0,55
Cèdre blanc	378	400	713	600	115	30	0,48
Cèdre gris	695	740	1 008	1 119	64	30	0,43
Cèdre jaune	669	700	980	1 035	69	30	0,58
Cèdre noir	508	540	853	814	91	30	0,45
Cèdres durs	925	950	1 142	1 372	45	30	0,75
Chawari	760	800	1 049	1 197	58	29	0,53
Cœur dehors	872	910	1 118	1 383	48	24	0,61
Courbaril	899	940	1 136	1 439	46	23	0,59
Diaguidia	472	500	816	750	97	30	0,48
Dodomissinga	393	420	735	640	111	29	0,40
Ebène verte/rouge	1 004	1 040	1 195	1 607	39	20	0,68
Gaan moni	563	600	904	909	82	30	0,42
Gaiac de Cayenne	1 039	1 070	1 213	1 628	37	22	0,73
Gaulettes	973	1 000	1 172	1 444	41	30	0,75
Gonfolos (gris & rose)	693	730	1 002	1 083	65	31	0,53
Goupi	809	840	1 075	1 256	54	26	0,66
Grignon franc	627	660	951	986	74	29	0,54
Inkassa/ Inkassa tiabici	711	750	1 015	1 156	63	23	0,51

Tableau 2 (suite).

Essences	ρ_0	ρ_{12}	ρ vert	ρ_{45} sur brut	H vert	Psf	v
Jaboty	572	600	904	889	82	30	0,57
Jacaranda	410	430	746	632	109	32	0,56
Kaiman oudou	880	900	1 112	1 293	49	30	0,79
Kimboto	916	960	1 148	1 422	44	30	0,57
Kobe	611	640	936	928	76	34	0,58
Kouatakaman	440	470	787	715	102	29	0,41
koumanti oudou	915	940	1 136	1 392	46	26	0,75
Lacassi	712	740	1 008	1 084	64	30	0,65
Maho cigare	587	620	920	936	79	28	0,50
Mahot coton	302	320	615	480	132	30	0,48
Mahots noirs	1 011	1 050	1 201	1 538	38	30	0,65
Mahots rouges	866	900	1 112	1 318	49	30	0,65
Mamantin	708	750	1 015	1 126	63	30	0,48
Manil marécage	680	710	987	1 051	68	29	0,61
Manil montagne	869	900	1 112	1 351	49	25	0,68
Mapa (baaka)	590	620	920	921	79	30	0,55
Mincouart	841	900	1 112	1 369	49	30	0,39
Mongui soke	881	900	1 112	1 291	49	30	0,80
Moni	652	690	973	1 034	70	30	0,49
Montouchi montagne	827	850	1 081	1 228	53	30	0,75
Moutende kouali	571	600	904	891	82	30	0,55
Panacoco	1 177	1 200	1 287	1 800	29	23	0,82
Parcouri	821	850	1 081	1 261	53	27	0,68
Sali	833	870	1 093	1 310	52	26	0,60
Satiné rouge / rubané	1 052	1 100	1 230	1 701	35	21	0,59
Simaba	498	530	844	800	92	30	0,44
Simarouba	410	440	756	668	107	32	0,36
St Martin Jaune	789	820	1 062	1 234	56	25	0,65
St Martin Rouge	876	910	1 118	1 385	48	23	0,65
Taapoutiki	669	700	980	1 035	69	30	0,58
Takina	660	690	973	1 029	70	28	0,59
Tamalin	575	610	912	918	80	30	0,46
Wacapou	886	920	1 124	1 409	47	22	0,65
Wacapou Guitin	1 004	1 050	1 201	1 551	38	30	0,59
Wana kouali	469	500	816	756	97	30	0,43
Wandékolé	752	800	1 049	1 208	58	30	0,44
Wapas	823	880	1 100	1 342	51	29	0,40
Yayamadous kwatae et montagne	493	520	835	762	94	34	0,52
Yayamadou marécage	497	520	835	754	94	34	0,58

Formules de calcul utilisées pour la formalisation du tableau 2 :

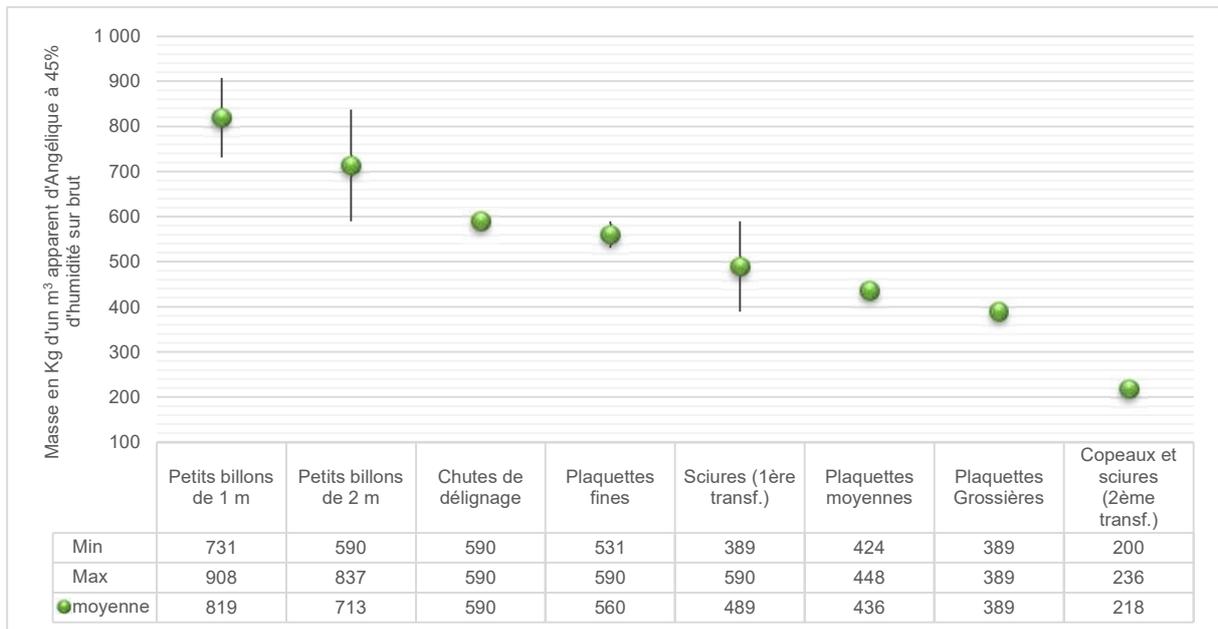
Par définition : $\rho_0 = \rho_{12} \cdot (100 + 12 \cdot v) / (100 + 12)$ et $\rho_H = (\rho_{12} \cdot (100 + H) \cdot (100 + v \cdot 12)) / ((100 + 12) \cdot (100 + v \cdot \text{Psf}))$ si $H > \text{Psf}$

Formules établies par le CIRAD, pour l'approche, par le calcul du taux d'humidité et de la masse volumique du bois vert des essences guyanaises :

$H \text{ vert} = 2,2706 \cdot \text{EXP}(-1,703 \cdot \rho_{12}/1000) \cdot 100$ et $\rho \text{ vert} = \rho_{12} \cdot 0,829 \cdot (1 + H \text{ vert}/100)$

Lorsque, pour certaines essences, le Psf n'avait pas été mesuré, la valeur de 30% a été prise par défaut, elle est alors formalisée en italique dans le tableau.

4. Eléments de comparaison : masse d'un m³ apparent des principaux biocombustibles dérivés du bois d'Angélique à 45% d'humidité sur brut.

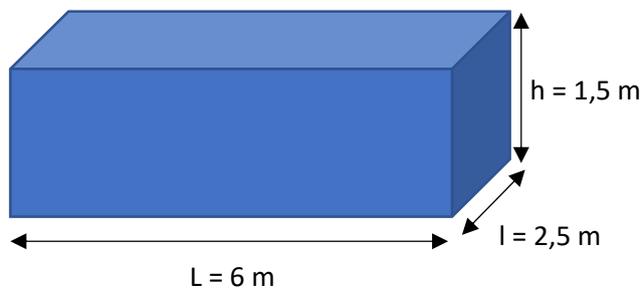


5. Exemples de calculs de masse pour quelques cas de figures classiques

5.1. Container de collecte de chutes de délignage (lot 1)

Lot 1 = chutes de délignage de bois d'Angélique vert contenues dans un container de collecte en scierie plein

Volume d'encombrement du lot de chutes de délignage = volume du container



$$V_e = L \times l \times h = 22,5 \text{ m}^3$$

Coefficient de conversion : 0,5

$$V_{\text{bois plein}} = 0,5 \times V_e \times (L^*l^*h) = 11,25 \text{ m}^3$$

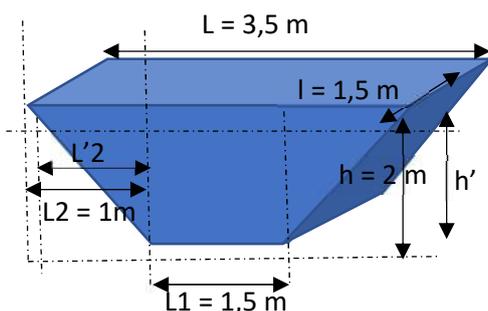
$$\rho_{\text{vert Angélique}} = 1042 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{\text{vert lot1}} = 11,25 \times 1042 = 11,72 \text{ t}$$

5.2. Benne de copeaux (lot 2)

Lot 2 : copeaux de bois de Gonfolos à 12% d'humidité contenus dans une benne remplie jusqu'à 10 cm du bord

Volume d'encombrement du lot 2 = volume du container rectifié à 10 cm du bord



$$V_e = (L1 + L'2) \times l \times h' = 6,98 \text{ m}^3$$

avec :

$$h' = (h - 0,1) = 1,9 \text{ m}$$

$$L'2 = L2 \times h' / h = 0,95 \text{ m}$$

Coefficient de conversion : 0,18

$$V_{\text{bois plein}} = 0,18 \times V_e = 1,26 \text{ m}^3$$

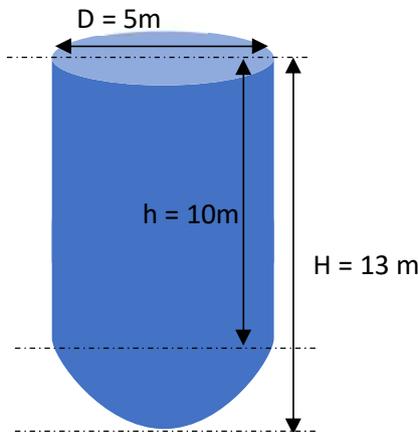
$$\rho_{12\% \text{ Gonfolos}} = 730 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{12\% \text{ lot2}} = 917 \text{ kg soit } 0,92 \text{ t}$$

5.3. Silo de plaquettes de scierie (lot 3)

Lot 3 : plaquettes de bois d'Angélique de granulométrie moyenne à forte à un taux d'humidité de 35% sur brut (Hb) contenu dans un silo de stockage plein.

Volume d'encombrement du lot 3 = volume du silo, soit volume du cylindre de hauteur h et de diamètre D + volume du cône de hauteur (H-h) et d'embase de diamètre D



$$V_e = (\pi \times D^2 / 4) \times (h + (H-h) / 3) = 215,99 \text{ m}^3$$

Coefficient de conversion : 0,36

$$V \text{ bois plein} = 0,36 \times V_e = 77,75 \text{ m}^3$$

$$H_a = H_b \times 100 / (100 - H_b) = 53,85 \%$$

$$\rho_{H_a} = (\rho_{12} \times (100 + H_a) \times (100 + v \times 12)) / ((100 + 12) \times (100 + v \times P_{sf})) = 997,66 \text{ kg/m}^3$$

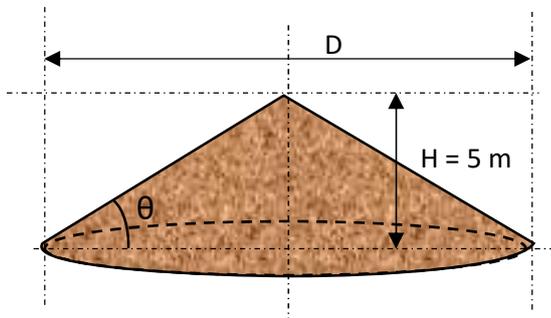
$$\rho_{35\% \text{ sur brut}} = 997,66 \text{ kg/m}^3 \text{ ou } 0,998 \text{ tonnes/m}^3.$$

$$M_{35\% \text{ sur brut}} \text{ lot3} = 77.572,58 \text{ kg soit } 77,57 \text{ t}$$

5.4. Tas de sciures sur parc de scierie (lot 4)

Lot 4 : sciures de bois d'essences guyanaises mélangées à un taux d'humidité d'environ 45% sur brut stockées en tas sur parc de scieries

Volume d'encombrement du lot 4 : volume du tas de sciures de forme conique, de hauteur H et de base de diamètre D, difficile à mesurer ou à estimer du fait d'empilement successifs



$$V_e = (\pi \times D^2 / 4) \times (H/3) = 392,70 \text{ m}^3$$

$$\text{où } D_{\text{estimé}} = H \times 2 / \tan(\theta) = 17,32 \text{ m avec } \theta \sim 30^\circ$$

Coefficient de conversion : 0,41

$$V \text{ bois plein} = 0,41 \times V_e = 161,00 \text{ m}^3$$

$$\rho_{45\% \text{ sur brut}} \text{ mélange} = 1.160,10 \text{ kg/m}^3 \text{ ou } 1,16 \text{ tonnes/m}^3.$$

$$M_{45\% \text{ sur brut}} \text{ lot4} = 186 776,10 \text{ kg soit } 186,78 \text{ t}$$



Ce document a été réalisé par le Centre Technique Bois et Forêts de Guyane (CTBF Guyane), grâce au soutien financier de l'Europe, de la Collectivité Territoriale de Guyane, de la Mission Guyane du CNES/CSG et d'INTERPROBOIS Guyane.

