



Rapport final

XYLOCHIPS

Dispositif de mesure en continu du contenu énergétique de plaquettes forestières





HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD

www.heig-vd.ch

Date : 2 février 2018

Lieu : Yverdon-les-Bains

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Biomasse & Énergie du bois
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch

Cofinancement :

Canton de Vaud (DGE-DIREN), CH-1014 Lausanne

Mandataires :

HEIG-VD
Ave des Sports 20, CH-1400 Yverdon-les-Bains
www.heig-vd.ch

Auteurs :

Julien Ropp, HEIG-VD, julien.ropp@heig-vd.ch
Thierry Stäger, HEIG-VD, thierry.stager@heig-vd.ch
Roger Röthlisberger, HEIG-VD, roger.roethlisberger@heig-vd.ch

Responsable de domaine de l'OFEN : Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch

Chef de programme de l'OFEN : Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/501399-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen, Adresse postale : 3003 Berne
Tél. +41 58 462 56 11 · fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.ofen.admin.ch

Sommaire

Sommaire	3
Liste des abréviations.....	5
Zusammenfassung	6
Résumé	6
Summary	6
1 Introduction	7
1.1 Point de vue du fournisseur	7
1.2 Point de vue du consommateur	7
1.3 Synthèse	8
2 Descriptif	8
2.1 Objectif	8
2.2 État de l'art	9
2.3 Prospection du marché	9
2.4 Études à mener.....	10
3 Présentation du dispositif de mesure.....	11
3.1 Capteurs de mesure	11
3.1.1 Mesure de l'humidité	11
3.1.2 Détermination du débit massique	11
3.2 Description du dispositif de mesure	11
4 Travail réalisé.....	13
4.1 Interface automate et fiabilisation du programme.....	14
4.2 Calibration du capteur de masse	14
4.3 Calibration des capteurs d'humidité.....	15
4.4 Détermination de l'énergie	15
5 Résultats obtenus en laboratoire	16
5.1 Masse.....	17
5.2 Humidité	17
5.3 Énergie relevée	19
6 Détermination de l'énergie en conditions réelles	21
6.1 Conditions d'essai	21
6.2 Résultats obtenus	22
7 Analyse finale et bilan des essais réalisés	24
7.1 Capteur de masse.....	24



7.2	Comparatif des capteurs d'humidité	24
7.3	Détermination de l'énergie	25
8	Conclusions.....	26
9	Perspectives.....	26
10	Valorisation et dissémination	27
11	Remerciements	27
12	Annexes	28
12.1	Descriptifs des capteurs.....	28
12.1.1	Capteur d'humidité infra-rouge	28
12.1.2	Capteur d'humidité micro-ondes	32
12.1.3	Système de mesure de débit massique TELEMETRIX.....	38
12.1.4	Capteur d'humidité micro-ondes Moistscan.....	40
12.1.5	Détermination de la granulométrie en continu AUTOMELEC	42
12.1.6	Exemple de détermination de la granulométrie en continu sur P31S et P45S.....	48
12.2	Organigrammes	50
12.2.1	Pilotage de la ligne.....	50
12.2.2	Traitement des signaux.....	51
12.2.3	Mode de fonctionnement manuel	52
12.3	Caractéristiques de quelques lots testés	53

Liste des abréviations

IR	Infra-rouge
μO	micro-onde



Zusammenfassung

Die Bestimmung des Energieinhalts von Waldhackschnitzeln basiert derzeit hauptsächlich auf der Wärme, die von dem mit einem Wärmezähler ausgerüsteten Kessel geliefert wird. Der Hackschnitzellieferant berechnet daher nur die Nutzenergie, die der Verbraucher mit seinem Kessel produzieren kann. Das Ziel dieses Projekts war, den Energieinhalt von Hackschnitzeln bei der Lieferung, wie bei jedem anderen Brennstoff, zu bestimmen.

Zu diesem Zweck wurde eine Sondereinrichtung entwickelt und gebaut. Es beinhaltet eine kontinuierliche Feuchtigkeit- sowie eine Massedurchfluss-Messung. Die Verwendung dieser zwei Größen, zusätzlich zu einem konservativen Wert des oberen Heizwerts des trockenen Holzes und des durchschnittlichen Wasserstoffgehalts ermöglicht, den Energiegehalt der Holzsnitzeln zu bestimmen. Die ersten Feldmessungen unter realen Bedingungen ermöglichten in 10 Minuten, die in einer Last von 40 m³ enthaltene Energie mit einem Fehler von weniger als 3% zu bestimmen. Würden diese Ergebnisse im Rahmen der nächsten Phase des Projekts bestätigt, wäre diese Messmethode viel präziser und objektiver als die derzeitige Praxis, die auf der Kombination eines Wärmezählers und einer Schätzung der durchschnittlichen Kesseleffizienz basiert.

Résumé

La détermination du contenu énergétique des plaquettes forestières se fait actuellement essentiellement sur la base de la chaleur fournie par la chaudière, via un compteur dédié. Le fournisseur de plaquettes ne facture donc que la fraction utile que le consommateur arrive à produire avec sa chaudière. Le but de ce projet a été de déterminer le contenu énergétique des plaquettes forestières à la livraison comme c'est le cas pour n'importe quel autre combustible.

À cette fin, une installation a été conçue et réalisée. Elle intègre la mesure de l'humidité en continu ainsi que celle du débit massique. L'utilisation de ces deux grandeurs, en complément d'une valeur conservative du pouvoir calorifique supérieur sec et du taux d'hydrogène moyen, permet de déterminer le contenu énergétique des plaquettes forestières. Les premières mesures en conditions réelles dans le terrain ont permis de déterminer en 10 min l'énergie contenue dans une charge de 40 m³, avec une erreur inférieure à 3%. Si ces résultats devaient se confirmer dans le cadre de la suite du projet, une telle méthode de mesure se révélerait alors bien plus précise et objective pour la facturation que la pratique actuelle basée sur la combinaison d'un compteur de chaleur et d'une estimation du rendement moyen de chaudière.

Summary

Today, the energy content of wood chips is determined based on metered measurements of heat delivered by the boiler. Consequently, the wood chip supplier can bill only for the useful heat that the consumer is able to produce with his boiler. The purpose of this project was to determine the energy content of wood chips at the time of delivery as is the case for any other fuel.

To this end, a tool was designed and built. It incorporates continuous moisture and mass flow measurement. The use of these two quantities, in addition to a conservative value of the dry higher heating value and the average hydrogen content, makes it possible to determine the energy content of the wood chips. The first measurements in real conditions in the field showed that the energy contained in a load of 40 m³ could be determined with an error of less than 3%. If these results are confirmed during the next phase of the project, then a much more precise and objective measurement method than the current practice, based on the combination of a heat meter and an estimate of average boiler efficiency, would be available for use in billing.



1 Introduction

La détermination du contenu énergétique des plaquettes forestières se fait actuellement, dans la majorité des cas, sur la base de la chaleur fournie par la chaudière, mesurée au moyen d'un compteur dédié. De ce fait, le fournisseur de plaquettes ne facture pas l'énergie brute mise à disposition, mais la fraction utile que le consommateur arrive produire avec sa chaudière. À titre de comparaison, dans le cas d'un automobiliste, cela équivaldrait à payer le carburant en fonction du kilométrage parcouru et non pas de la quantité consommée. Dans certains cas, la facturation se fait sur la base de la masse (prix à la tonne) ou du volume (prix au m³) de plaquettes fournies.

Bien qu'attractif par leur apparente simplicité, les systèmes économiques actuellement en vigueur dans le domaine de la commercialisation de plaquettes forestières sont à plus d'un titre inappropriés, aussi bien du point de vue du fournisseur que de celui du consommateur.

1.1 Point de vue du fournisseur

Le fournisseur s'approvisionne en bois au prix du marché, mais n'est pas rémunéré uniquement en fonction de la plus-value qu'il apporte au niveau du déchetage, conditionnement, stockage et livraison des plaquettes forestières. En effet, son revenu va aussi dépendre de l'efficacité avec laquelle le pouvoir énergétique du bois sera converti en chaleur utile par le consommateur ; paramètre sur lequel il a peu d'influence. Dans la majorité des cas, il va bien prendre en compte l'efficacité nominale de la chaudière pour la détermination du prix unitaire de l'énergie-chaleur délivrée, mais n'aura aucun contrôle direct sur la fréquence et la qualité des travaux d'entretien nécessaires à garantir une haute efficacité de conversion. Il est donc tributaire du bon vouloir du consommateur, qui n'a aucune motivation à convertir au mieux le produit livré, du fait qu'il ne paie que l'énergie finale.

L'efficacité d'une chaudière ne dépend pas seulement de son entretien mais également et en grande partie, de la conception globale de l'installation de production de chaleur (dimensionnement de la chaudière, échelonnement des puissances en cas d'installation comportant plusieurs unités, présence d'un accumulateur de chaleur, concept de régulation...), ou encore du réseau de distribution de chaleur auquel elle est raccordée et en particulier de la température de retour de celui-ci. Plus la température de retour est basse (mais toujours au-dessus de celle minimale prescrite par le fabricant de chaudière) plus l'efficacité sera élevée. À nouveau, le revenu du fournisseur de plaquettes va dépendre de nombreux paramètres dont il n'a pas le contrôle et qui sont très difficile à prendre en compte lors de l'établissement du contrat d'approvisionnement.

Compte tenu de ces aspects, il semble légitime que la responsabilité du fournisseur se limite à mettre à disposition de l'énergie brute avec une humidité relative appropriée à la chaudière à alimenter. La valorisation de cette énergie devrait être du ressort du consommateur, qui serait alors particulièrement motivé à maximiser l'efficacité de sa chaudière par l'intermédiaire d'une basse température de retour du réseau, d'un entretien approprié ou d'investissements de modernisation des installations. Ceci contribuerait directement à améliorer l'efficacité énergétique de la filière des plaquettes forestières.

Une facturation des plaquettes basées sur leur contenu énergétique, à l'instar du mazout ou du gaz naturel, simplifierait significativement la logistique de facturation et, par-là, agirait en faveur de la promotion de cette forme d'énergie renouvelable.

1.2 Point de vue du consommateur

Si le mode de facturation actuelle semble de prime abord être en faveur du consommateur, elle comporte aussi un certain nombre de désavantages majeurs.



En effet, la facturation via un compteur de chaleur contraint le consommateur à travailler avec un seul et unique fournisseur. En fonction de la taille et des pratiques de ce dernier, cela engendre une dépendance qui peut s'avérer critique en matière de qualité (fluctuation excessive d'humidité pouvant engendrer un dysfonctionnement de la chaudière ainsi que des systèmes de filtration) et de sécurité d'approvisionnement (capacité insuffisante, faillite, décès, etc.).

D'autre part, pour une qualité de combustible donnée, il peut directement récupérer les bénéfices d'une gestion optimale des installations de production de chaleur et des investissements liés. Ceci est déjà le cas actuellement pour les modes de facturation à la masse ou au volume. Toutefois, avec ce type de contrat, le fournisseur n'est pas encouragé à fournir des plaquettes à faible humidité et plus particulièrement avec une facturation à la tonne, ou une plaquette humide à plus de valeur commerciale qu'une plaquette sèche.

La liberté de choix du fournisseur, en tout temps, est aussi directement dans l'intérêt du consommateur, tant du point de vue logistique qu'économique. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'un système à même de déterminer le pouvoir énergétique brute et l'humidité du combustible livré.

1.3 Synthèse

Les systèmes actuels de facturation des plaquettes forestières ne conviennent véritablement à aucune des deux parties. Il est donc nécessaire de développer un dispositif à même de déterminer à la livraison le contenu énergétique effectif et l'humidité du combustible, et ceci de manière pratique, fiable et économique. Ceci contribuerait directement à améliorer l'efficacité énergétique de la filière des plaquettes forestières.

2 Descriptif

2.1 Objectif

Le but de ce projet était de mettre en œuvre un système qui permette de déterminer en continu le contenu énergétique et l'humidité des plaquettes forestières lors de leur livraison, et ainsi d'induire une amélioration de leur qualité.

Une étude préalable menée dans le cadre d'un travail de Bachelor, en collaboration avec la société Germaplaket (acteur important du Nord-Vaudois avec 4 personnes à temps plein pour un chiffre d'affaire d'environ 1 MCHF), a montré la très faible influence de l'essence sur le pouvoir calorifique supérieur massique sec contrairement à l'humidité et la masse volumique.

Le contenu énergétique peut ainsi être déterminé par la mesure de la masse du bois et de la quantité d'eau qu'il contient.

Un apport non négligeable de ce système de mesure en continu de l'énergie, c'est qu'il permet de contrôler dans une certaine mesure, la qualité des plaquettes fournies et peut dans tous les cas donner leur classe d'humidité selon la norme ISO 17225-4.

En effet, lors du passage sous le capteur d'humidité, il est déterminé non seulement l'humidité moyenne du lot mais aussi sa dispersion. De grosses variations peuvent alors alerter l'utilisateur sur soit :

- la présence de plusieurs lots différents de plaquettes ;
- une forte hétérogénéité du bois qui pourrait dégrader les performances énergétiques de la chaudière et accroître les émissions de polluants.



Une étude commandée par Énergie Bois Suisse¹ a montré que le seul taux d'humidité peut faire augmenter les émissions de particules jusqu'à un facteur 60, lorsque celle-ci dépasse une valeur de 40%.

D'une manière générale, le fait de pouvoir caractériser du point de vue de l'humidité les plaquettes est susceptible d'en améliorer indirectement la qualité. Sachant que le client est en mesure de vérifier une livraison, le fournisseur veillera à offrir un produit le plus conforme possible aux exigences du client, ceci pour éviter de se voir refuser la marchandise sur des critères objectifs (initiation d'un cercle vertueux).

Dans un second temps, il y aurait la possibilité d'équiper le banc de mesure avec un système dédié à la détermination de la classe granulométrique du bois fourni et de détecter la fraction de sur-longueurs, comme évoqué plus loin au § 9. Ceci permettrait de certifier au client que la marchandise est conforme en tout point à ce qu'il a commandé et d'éviter ainsi des problèmes sur la ligne d'approvisionnement de la chaudière et un éventuel accroissement des émissions polluantes. Il serait ainsi possible de générer un rapport complet de livraison comprenant les paramètres déterminants pour évaluer la qualité des plaquettes.

2.2 État de l'art

À l'heure actuelle, il n'y a aucune solution intégrée sur le marché qui permette de mesurer en continu la quantité d'énergie contenue dans les plaquettes forestières. Des solutions partielles existent pour la détermination de la masse via la pression des pneus ou des jauges de contraintes sur la benne. Cependant ces techniques sont valables pour des produits dont la masse volumique est très supérieure au bois et non donc pas la précision requise dans notre cas, notamment pour servir de base à une facturation. De même en ce qui concerne l'humidité, les appareils portatifs ne peuvent pas être adaptés pour une mesure représentative et en continu de la charge, par manque de résistance mécanique et de précision.

Dans la première étude mentionnée plus haut, il a été montré qu'il était théoriquement possible de déterminer la masse de plaquettes livrées via un tapis roulant muni d'un système de pesage (rouleau peseur). L'humidité quant à elle peut être directement mesurée à l'aide d'un analyseur d'humidité (infra-rouge par exemple).

Le rouleau peseur et l'analyseur sont issus de l'industrie et ont déjà fait à de multiples reprises la démonstration de leur robustesse dans des milieux hostiles (chocs, boue, froid, variation d'humidité, etc.). Le principe consiste à installer deux tapis de transfert, l'un pour réceptionner la marchandise et l'autre pour la distribuer. C'est le second tapis qui doit être équipé du module de pesage et d'un portique pour accueillir l'analyseur d'humidité.

2.3 Prospection du marché

Avant le démarrage technique de ce projet, différents acteurs du marché de la plaquette forestière ont été contactés. Trois types d'acteurs ont été approchés :

- les fournisseurs de plaquettes forestières (dont Germaplaket à Yverdon-les-Bains) ;

¹ Émissions de particules fines lors de la combustion de plaquettes forestières - Étude de l'influence des taux d'humidité et de fines - pour Énergie Bois Suisse – Février 2017



- les chaufferies industrielles ou communales à plaquettes forestières (en particulier Énergie Durable dans le canton de Genève et l'usine de production d'énergie à bois (HKW) à Bâle de la société IWB) ;
- un fabricant de machine dans le secteur du bois énergie (Aficor).

Les fournisseurs et utilisateurs ont tous été intéressés par le principe et ont considéré qu'un tel système répondrait à leur problème de facturation ou de contrôle de la qualité (essentiellement l'humidité).

Il est aussi ressorti de ces différentes rencontres qu'il n'était pas impératif, dans un premier temps, de mesurer l'énergie en sortie de benne lors de la livraison sur site. Cela pourrait se faire soit au chargement soit sur une installation fixe pour de grosses unités de chauffage. Si les résultats devaient être concluant, une société comme Germaplaket serait même prête à financer en partie une installation fixe chez leurs plus gros clients.

À ce jour, au moins deux clients potentiels (Énergie Durable et les CFF pour le chauffage de leur atelier technique d'Yverdon-les-Bains) ont été approchés pour mettre en place un système de mesure de l'énergie en continu à la réception de leur installation de chauffage.

À ce stade, aucun montant complet n'a été articulé. Cependant et à titre d'exemple si une telle machine devait coûter au final 100'000,- CHF, le surcoût au kWh fourni serait de 0,1 cts, sur une période de 3 ans, pour une entreprise qui livrerait 35'000 m³/an. Cela représente environ 1,5% du prix de vente actuel (2017), sortie chaudière.

Ce dernier chiffre est à mettre en perspective avec la perte due à l'erreur d'estimation du rendement moyen des installations et du compteur de chaleur après chaudière. Une chaufferie de 2 MW, consomme environ 5'000 m³/an de plaquettes soit environ 310'000,- CHF. Une erreur de 10% sur l'estimation du rendement et le compteur de chaleur, représente une somme de 31'000,- CHF/an.

Une étude plus complète sur ce point devra être menée dès lors que seront choisis précisément les équipements les plus adaptés (capteurs, dimensionnement du convoyeur...).

2.4 Études à mener

Dans le cadre du présent projet, il s'agissait de valider expérimentalement la technique de mesure sur la base des composants identifiés. Dans un premier temps, après conception et réalisation, le dispositif a été caractérisé en laboratoire par comparaison des résultats de mesures effectuées sur une série d'échantillons avec ceux obtenus par mesure conventionnelle selon les normes en vigueur. Dans un deuxième temps, les résultats ayant été concluants, des mesures de plusieurs chargements de bennes ont été effectuées en conditions réelles d'utilisation.

En résumé, les travaux menés ont été de :

- concevoir et réaliser un dispositif de mesure suffisamment flexible à même de reproduire les conditions de fonctionnement attendues en pratique (en particulier la vitesse de mesure) ;
- caractériser la précision de mesure en fonction des conditions d'utilisation en comparant les résultats avec ceux établis sur la base de mesures normées d'échantillons. Diverses essences et granulométries seront évaluées (hêtre, peuplier, sapin/épicéa, mélanges feuillus/résineux... et pour les classes granulométriques P45S, P31S et P16S selon EN ISO 17225) ;
- élaborer une interface à même de calculer le contenu énergétique, la masse totale, l'humidité moyenne et sa plage de variation, ainsi que toute autre grandeur (pouvoir calorifique moyen, teneur en hydrogène moyenne) nécessaire à la caractérisation de la livraison ;
- émettre toute recommandation utile à la phase suivante de test en conditions réelles d'utilisation.



3 Présentation du dispositif de mesure

3.1 Capteurs de mesure

Une analyse des produits disponibles sur le marché a permis d'identifier pour ce projet deux types de capteurs d'humidité, basés respectivement sur une mesure par rayonnement infrarouge et par micro-ondes, et un module de pesage, capables de donner une mesure fiable et continue sur un tapis roulant évoluant entre 0,5 et 2,0 m·s⁻¹.

3.1.1 Mesure de l'humidité

L'étude préalable a débouché sur les choix suivants :

- infrarouge : [Infrabelt](#) de la société EDIT, une unité (Figure 1), dénommé capteur IR ;
- micro-ondes : le [M-Sens 2](#) proposé par SWR, à raison de deux unités (Figure 2), dénommé capteur μ O.

3.1.2 Détermination du débit massique

Le choix du système de pesée s'est porté sur le rouleau peseur développé par TeleMetrix [TMX 1010](#) (Figure 3).



Figure 1 : Infrabelt infrarouge, IR



Figure 2 : M-Sens 2 micro-ondes, μ O



Figure 3 : débit massique TMX 1010

Un descriptif plus complet de ces capteurs se trouve en annexe au chapitre 12, page 28 et suivantes.

3.2 Description du dispositif de mesure

Le dispositif de mesure a été conçu et réalisé par la société Aficor (Chanéaz), sur la base d'un cahier des charges établi par la HEIG-VD.

Le système travaille en discontinu. Cela signifie que la matière est passée par batch de 2 à 3 m³, selon le processus suivant (voir Figure 4) :

- chargement de la matière première dans une trémie (1) équipée d'un système de pesée, d'un tapis d'une largeur d'un mètre et d'une ouverture de largeur fixe (70 cm) mais de hauteur variable. Il est possible de charger la trémie depuis le haut via un godet ou latéralement depuis une remorque d'une hauteur de 1,10 m ;
- le tapis de la trémie (1) se déverse sur le tapis de mesure (2) qui est équipé d'un système de pesée en continu (5) ainsi que des supports pour l'analyseur d'humidité infrarouge EDIT (6) et les capteurs micro-ondes SWR (7). La configuration de ces derniers peut se faire longitudinalement ou latéralement (voir Figure 5) ;

- l'évacuation des plaquettes du tapis de mesure se fait via un tapis de relevage (3) qui reverse la matière dans des big-bags.

Le retour de la marchandise se fait via un chariot porteur de deux big-bags qui sont vidés dans la trémie à l'aide d'un portique (4).

Le fonctionnement du dispositif de mesure est commandé de manière centralisée par un automate programmable.

L'ensemble des tapis est mobile et peut être mis en place aisément lors des essais sur le terrain.

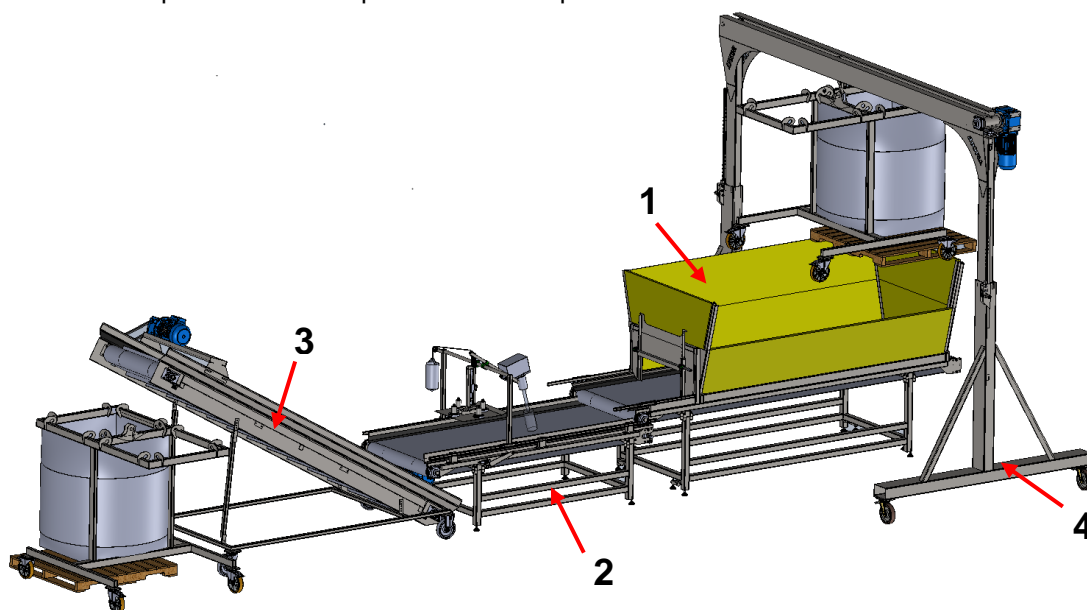


Figure 4 : dispositif de mesure réalisé par Aficor

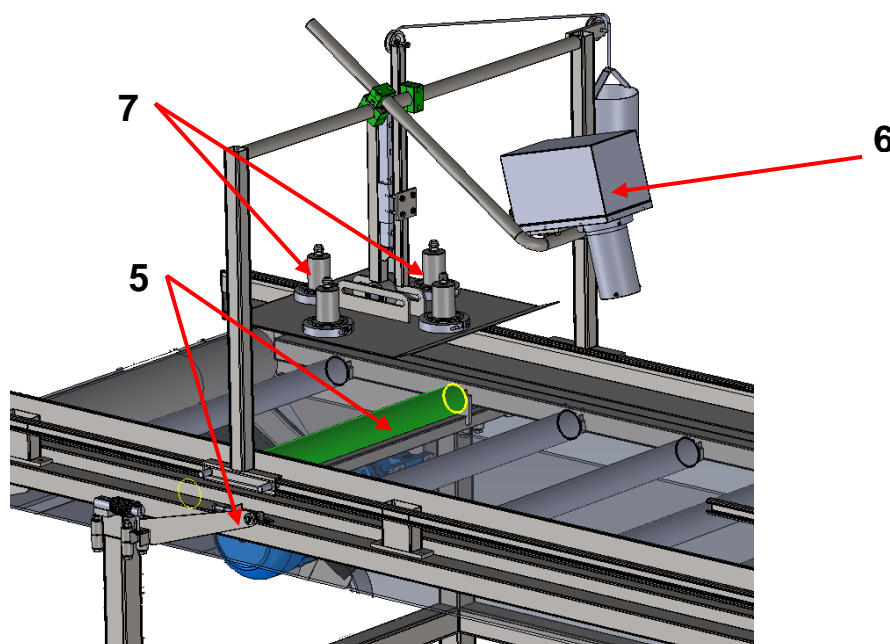


Figure 5 : positionnement des capteurs de masse et d'humidité



Le système de pesée en continu (5) est constitué d'un rouleau fixé sur deux pesons ainsi que d'un capteur de vitesse disposé sur un rouleau fixe. L'ensemble est connecté à un ordinateur qui transmet un signal de débit massique à l'automate.

De par son principe de fonctionnement, le capteur d'humidité à infrarouge (6) ne nécessite pas de contact avec la matière mesurée. Il est fixé sur un portique à une hauteur comprise entre 250 et 450 mm du tapis et est couplé à un détecteur de présence de matière.

Contrairement à celui par infrarouge, le capteur d'humidité à micro-ondes (7) doit impérativement être en contact avec la matière. Il est fixé sur un patin monté sur rail et supporté par un contre poids permettant à l'ensemble de suivre les variations de hauteur du lit de plaquettes en mouvement. Le dispositif est constitué de deux capteurs qui peuvent être positionnés longitudinalement ou latéralement sur le patin. La valeur d'humidité transmise du calculateur SWR à l'automate est le résultat d'une moyenne pondérée dans le cas de l'utilisation de deux capteurs.

Le portique supportant les capteurs d'humidité peut être positionné librement sur le module de mesure (2) ou à la sortie de la trémie (1).

4 Travail réalisé

Les essais ont consisté dans un premier temps à rendre la ligne opérationnelle (Figure 6), en fiabilisant la programmation de l'automate et en calibrant les différents capteurs avec des essences et de des humidités différentes. Les étapes ont été les suivantes :

- fiabilisation du programme de l'automate ;
- calibration du capteur de masse et partiellement d'humidité ;
- calibration finale des capteurs d'humidité ;
- mesure de l'énergie en continu en laboratoire et analyse de la précision et de la reproductibilité ;
- test de la ligne en conditions réelles.

L'ensemble des essais pour les trois premiers points représente 200 passages.



Figure 6 : dispositif de mesure installé au laboratoire

4.1 Interface automate et fiabilisation du programme

Le dispositif de mesure est entièrement automatisé. Sitôt l'ordre de mise en route validé, les tapis se mettent en mouvement en cascade et les capteurs relèvent l'humidité et le débit massique. Un pupitre est placé sur l'armoire électrique, permettant au dispositif de fonctionner en mode autonome.

L'algorithme mis en place suit les organigrammes fonctionnels présentés en annexe p. 50, au § 12.2.

L'écran principal de l'interface (Figure 7) présente les valeurs instantanées et moyennées de l'humidité ainsi que la masse délivrée (débit instantané et masse cumulée) et l'énergie cumulée.

La fiabilisation du programme a nécessité une cinquantaine de passage.

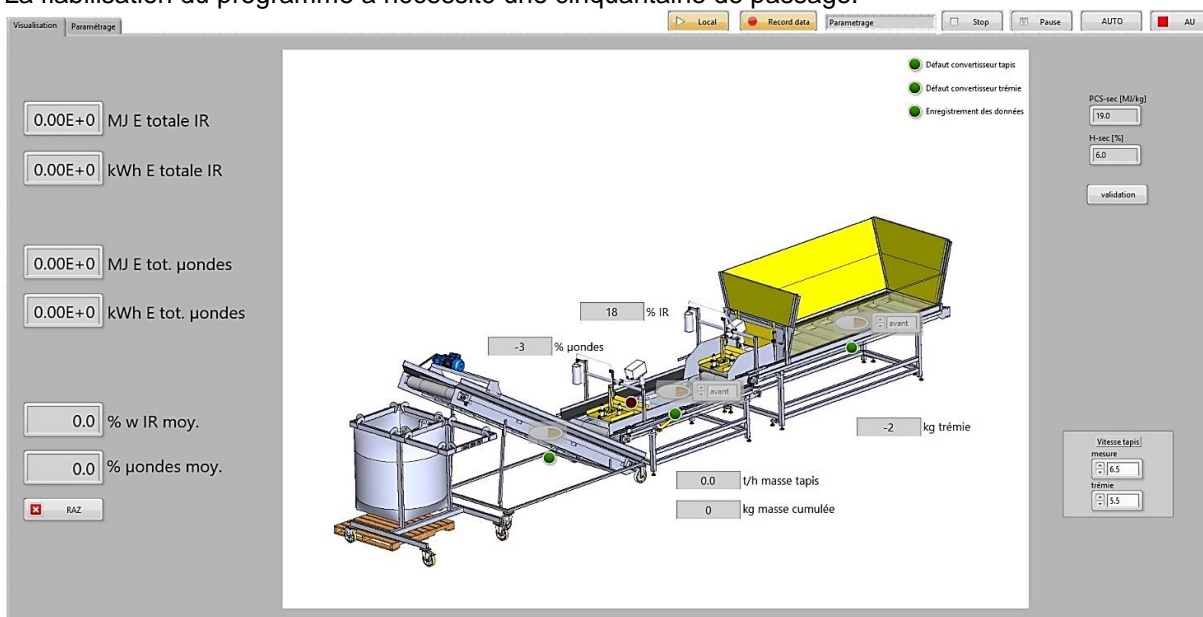


Figure 7 : interface visuel de l'automate pour la gestion du fonctionnement du dispositif

4.2 Calibration du capteur de masse

La calibration du capteur de masse peut se faire de deux manières :

- en chargeant avec des masses connues le capteur et en le faisant tourner jusqu'à ce que le totaliseur atteigne une valeur définies par l'utilisateur ;
- en faisant passer sur le tapis une quantité de matière connue.

Les deux méthodes ont été employées, la première pour une pré-calibration du système et la seconde, plus coûteuse en temps et en efforts, pour affiner la droite de régression linéaire du capteur.

Pour ce faire, la valeur du totalisateur du capteur en continu a été systématiquement comparée à celle de la trémie, équipée elle-même de pesons, qu'il a fallu aussi préalablement calibrer en pesant la matière testée sur une balance dédiée.

Il a été possible d'obtenir une erreur en masse inférieure au pourcent comme le montrent les derniers résultats de la Figure 9.



4.3 Calibration des capteurs d'humidité

En fonction de l'utilisation, la calibration des capteurs d'humidité peut se faire dynamiquement, lors d'un passage de matière, ou statiquement, en disposant un échantillon sous le capteur. Dans cette application, la méthode dynamique a été utilisée.

Le principe consiste à associer le signal généré par les capteurs lors d'un passage de matière, à la valeur moyenne d'humidité de ce lot, déterminée en laboratoire selon la norme ISO 18134-3 (par séchage à l'étuve). La procédure diffère d'un capteur à l'autre :

- **EDIT Infrabelt (IR)** – lors du passage matière, l'utilisateur relève des valeurs instantanées des signaux générés par les filtres du capteur. Ces valeurs, associées à la valeur d'humidité déterminée en laboratoire, sont ensuite introduites dans une base de données. Différentes courbes de calibration peuvent être créées à partir de cette base de données et introduites dans le calculateur de l'appareil.
- **SWR M-Sens 2 (μO)** – l'intégralité du signal brute est enregistrée lors d'un passage matière. La valeur moyenne du signal est alors associée à la valeur déterminée en laboratoire avant d'être introduite dans le calculateur de l'appareil. La courbe de régression linéaire est générée automatiquement sur la base de deux à cinq points de calibration.

L'opération doit ensuite être répétée avec des lots d'humidité différente, couvrant la plage de mesure attendue (20 à 40% dans ce cas).

Les deux types de capteurs évalués ont un temps de réaction et stabilisation de quelques secondes. De ce fait, la précision de la calibration dépend de l'homogénéité des lots de matière et de la durée de passage. La précision des calibrations réalisées en laboratoire lors de ce travail a été principalement limitée par la durée de passage des lots de 2m^3 (environ 30 secondes).

4.4 Détermination de l'énergie

La détermination de l'énergie contenue dans les plaquettes forestières, passe par la détermination de leur masse, leur humidité et leur pouvoir calorifique.

Le pouvoir calorifique supérieur sec à volume constant a été déterminé selon la norme ISO 18125 (juillet 2017). L'équation 1 exprime le pouvoir calorifique inférieur à réception, selon la norme ISO 1928 (janvier 2011), en fonction du pouvoir calorifique sec, du taux d'humidité du biocombustible ainsi que son taux d'hydrogène (sur sec) :

$$q_{V,net,m} = [q_{V,gr,d} - 206 \cdot \omega_{H,d}] \times (1 - 0,01 \cdot M_T) - 23,05 \cdot M_T \quad (1)$$

avec : $q_{V,gr,d}$ = pouvoir calorifique supérieur du combustible sec, à volume constant, en $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;

$q_{V,net,m}$ = pouvoir calorifique inférieur du combustible humide, à vol. constant, en $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;

$\omega_{H,d}$ = teneur en hydrogène, en pourcentage en masse, du combustible sec ;

M_T = teneur totale en humidité, en pourcentage de masse sur combustible humide.

L'énergie est le produit du pouvoir calorifique et de la masse (équation 2)

$$E_m = q_{V,net,m} \times m_m \quad (2)$$

avec : E_m = énergie délivrée du combustible humide, en kJ ;

m_m = masse du combustible humide, en kg.



Ce sont ces formules qui ont été employées pour la détermination de l'énergie en continu et en statique (contrôle laboratoire).

Les coefficients entrés dans l'automate pour le pouvoir calorifique supérieur et pour l'hydrogène sont : $19'500 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $6,0\%$. Les valeurs moyennes réelles, obtenues à partir de 42 échantillons, toutes essences confondues, sont : $q_{V,gr,d} = 19'670 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $w_{H,d} = 6,1\%$. À noter que l'intervalle de confiance pour $q_{V,gr,d}$ est de $90 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ et pour $w_{H,d} = 0,03\%$, ce qui confirme leur faible variation.

5 Résultats obtenus en laboratoire

La mise en service de l'installation (Figure 8) a commencé par une première série de tests de mise au point et de pré-calibration des capteurs. Puis, les essais en laboratoire ont débuté par une étude succincte de l'influence des paramètres de fonctionnement (vitesse de tapis, épaisseur du lit de plaquettes...) sur la précision de mesure des capteurs de masse et d'humidité.

Les résultats ont mis en évidence, d'une part, que l'épaisseur du lit de plaquettes n'a pas d'influence significative pour la mesure d'humidité par infrarouge mais peut influencer la mesure de masse ainsi que celle de l'humidité obtenue par micro-ondes, si le lit de plaquettes est trop fin.

D'autre part, pour une calibration donnée, la vitesse a une influence sur la précision de mesure de l'ensemble des moyens de mesure. Il apparaît donc qu'une nouvelle calibration des capteurs doit être effectuée pour chaque application nécessitant des paramètres de fonctionnement différents.

Dans le cadre de ce travail, la vitesse du tapis a été fixée à $0,85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et l'épaisseur du lit de plaquettes à 120 mm de manière à satisfaire le cahier des charges (déchargement d'une benne de 50 m^3 en une quinzaine de minute) tout en laissant un temps de passage suffisant pour les essais en laboratoire.

L'ensemble des données brutes ont systématiquement été enregistré. Un fichier de traitement de données a été élaboré sur la même base que l'algorithme de l'automate afin de pouvoir appliquer les éventuels changements de gains ou de compensations des capteurs aux résultats déjà obtenus.



Figure 8 : dispositif de mesure en fonctionnement au laboratoire



5.1 Masse

Les campagnes d'essai mentionnées en abscisse (Figure 9), comprennent entre 5 et 18 passages de matière. Les écarts relatifs entre la mesure de la masse du chargement au départ (via la trémie, équipée de pesons) et celle en continu (via le rouleau peseur du tapis de mesure) sont faibles.

On remarque encore, sur la Figure 9, que le rouleau peseur est légèrement sur-calibré puisque la moyenne des écarts est de +0,3%. Ceci s'explique par le fait que l'ensemble des valeurs sont rapportées aux mêmes conditions de gain et de compensation que les cinq derniers essais qui ont servi à valider la calibration du capteur de masse. Ces derniers ont des écarts relatifs inférieurs à 0,5% et leur intervalle de confiance est lui-même inférieur à 1% par rapport à la valeur moyenne.

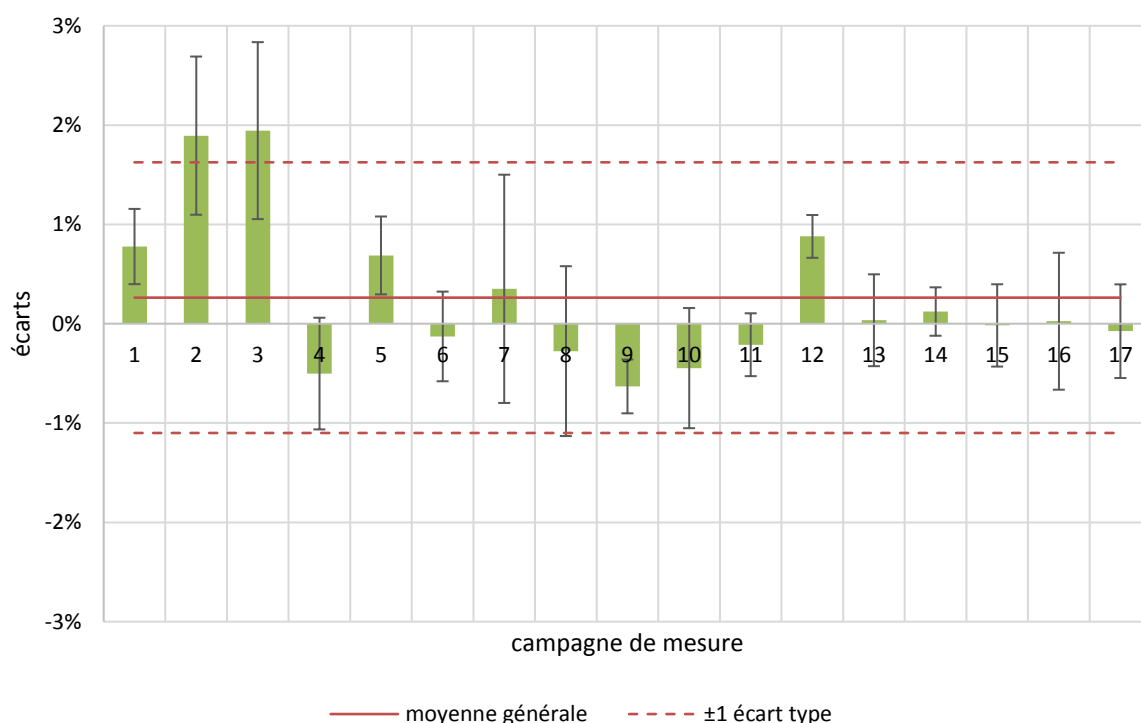


Figure 9 : écart relatif entre la masse effective et celle mesurée en continu

Note sur les variations : pour rappel, un écart type contient env. 68% des valeurs de part et d'autre de la moyenne. De plus, la barre d'erreur représentée ici autour de chaque valeur moyenne est l'intervalle de confiance, déterminé pour un risque $\alpha = 5\%$. Cela signifie qu'un essai dans les mêmes conditions aura sa moyenne comprise dans cette plage dans 95% des cas. Exemple : les variations de masse de la campagne de mesure 15 ont une moyenne de -0,02% et 95% de leur variabilité est comprise à cette valeur moyenne plus ou moins 0,3%.

5.2 Humidité

Une fois les capteurs d'humidité calibrés, cinq campagnes d'essai (n° 13 à 17 sur la Figure 9) ont été effectuées comprenant chacune sept passages. Les cinq configurations ont été choisies afin qu'elles soient représentatives du marché en terme d'essence (frêne, épicea, hêtre, peuplier), d'humidité (de 19% à 40%) et de classe granulométrique (P16, P31 et P45 S).

L'écart entre l'humidité mesurée et l'humidité de référence, présenté dans la Figure 10, est exprimé en point d'humidité relative. L'humidité de référence a été déterminée par analyse en laboratoire de prélèvements effectué durant le passage matière.

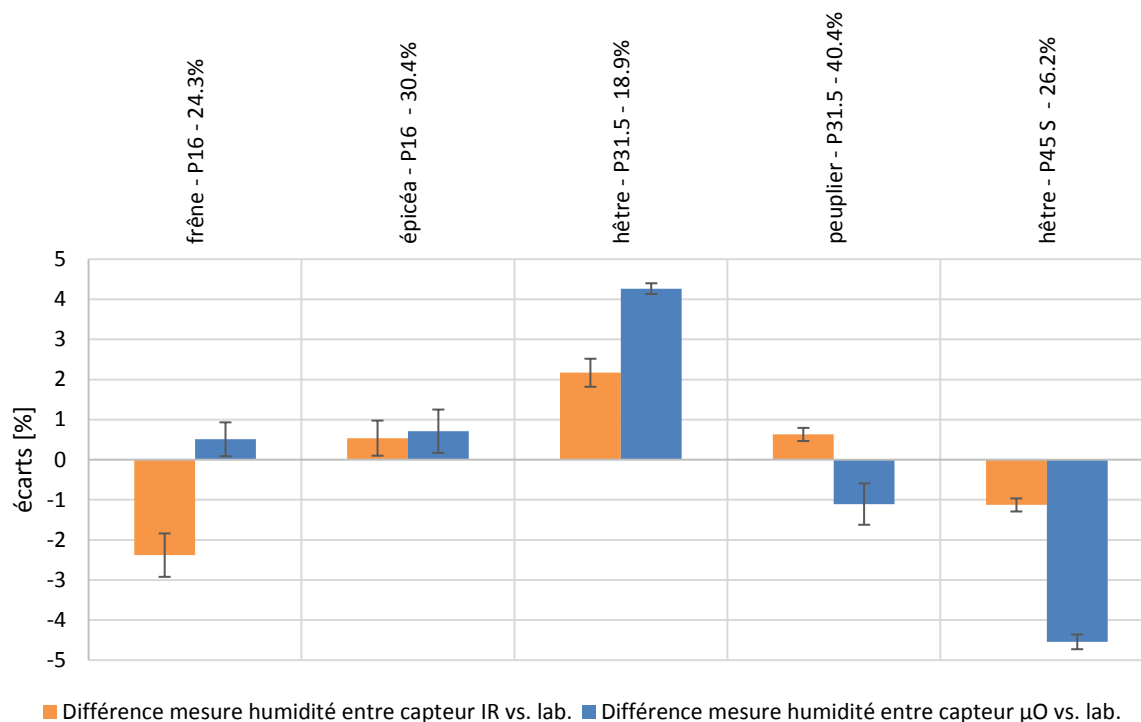


Figure 10 : écart entre l'humidité effective et celle mesurée via les capteurs IR et μ O

Lors de ces essais, une seule cellule de mesure a été utilisée pour le capteur micro-onde. La moyenne obtenue pour chacun des capteurs est nulle, cependant l'écart type général du micro-onde est de 3,0 contre 1,7 pour l'infrarouge. Ces différences sont bien notables sur les configurations 3 et 5 (Figure 10). Les variations observées sur le capteur à micro-ondes, sont le fait d'un foisonnement différent entre les plaquettes (la classe granulométrique du lot 3 est une P31 contre P45 S pour le lot 5, voir courbes granulométriques en annexe 12.3, Figure 22). Or ce capteur, qui est directement en contact avec la matière, voit son signal influencé par la surface couverte en présence.

L'humidité de surface est aussi un élément important, qui peut influencer considérablement le résultat final. Des tests intermédiaires ont permis d'évaluer la sensibilité des capteurs à ce phénomène. Après avoir mesuré l'humidité d'un lot lors d'un premier passage matière en condition normale, un second passage a été effectué en arrosant la surface du lit de plaquettes en mouvement, en amont des capteurs, avec une quantité d'eau suffisamment faible (0,5 l) pour ne pas influencer significativement l'humidité moyenne du lot.

Les résultats (Tableau 1) montrent que les deux capteurs ont relevé une humidité nettement supérieure lors du second passage et sont donc fortement influencés par une humidité de surface. Si cela s'explique par le principe même de mesure du capteur IR, ces essais ont permis d'identifier la grande sensibilité du capteur μ O qui n'indique tout simplement plus rien de cohérent dès lors que sa cellule de mesure est en contact direct avec de l'eau. Or, une des qualités attendues de ce principe de mesure devait être de ne pas être sensible aux phénomènes de surface.



capteur	passage standard	+ arrosage	écart	laboratoire
IR	20,8%	33.6%	+62%	21,3%
μO	25,7%	61.1%	+138%	

Tableau 1 : influence de l'arrosage de la matière sur l'humidité relevée

Ces résultats peuvent toutefois être relativisés car une telle situation ne devrait pas se produire en condition réelle d'utilisation. En effet, même si le chargement de plaquette est soumis à une forte pluie lors du transport, le déchargement dans la trémie permet d'homogénéiser le lot.

De plus, des protections peuvent être installées sur la tapis de mesure afin d'éviter tout biais lors du passage des plaquettes sous les capteurs d'humidité, dans le cas où l'installation ne pourrait pas être entièrement mise à l'abri.

5.3 Énergie relevée

L'énergie relevée résulte de la combinaison des mesures de masse et d'humidité des campagnes d'essais n° 13 à 17 (présentées à la Figure 9), comprenant chacune sept passages. Les constantes de pouvoir calorifique supérieur et d'hydrogène utilisées pour le calcul de l'énergie sont indiquées au § 4.4. L'énergie de référence a été calculée à partir des valeurs d'humidité, de PCS et d'hydrogène déterminées en laboratoire. La masse de référence est quant à elle mesurée par le dispositif de pesée de la trémie.

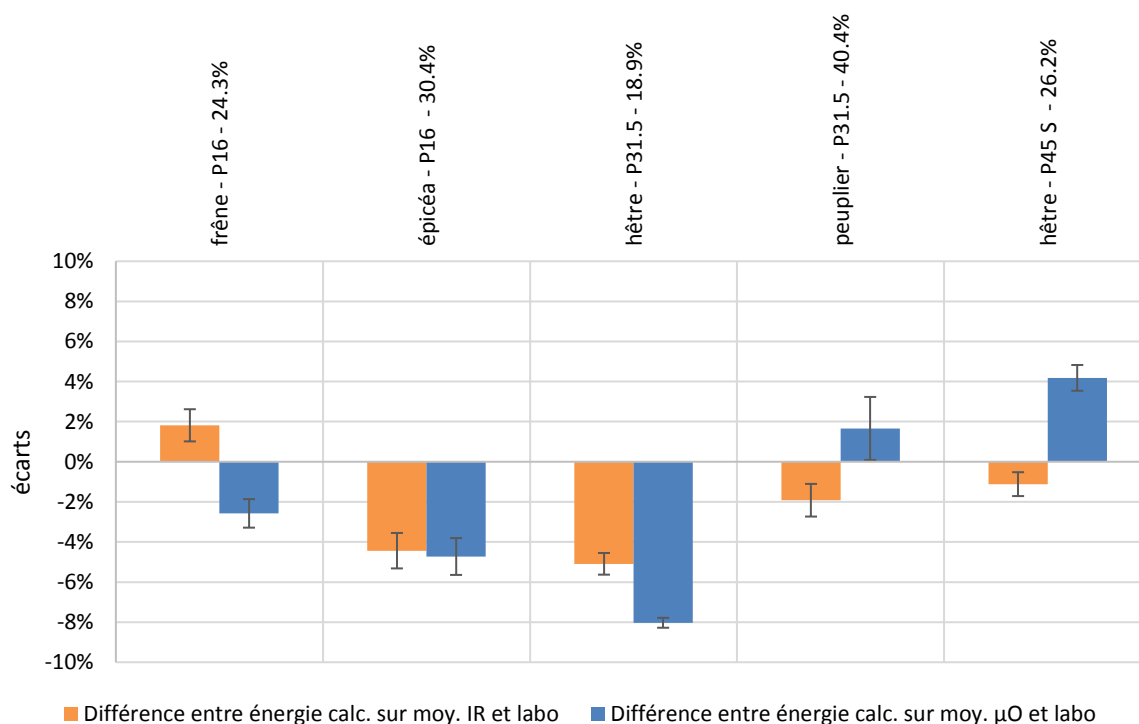


Figure 11 : comparaison entre l'énergie effective et celle mesurée via les capteurs IR et μO



L'énergie totale peut être déterminée en intégrant l'énergie instantanée calculée sur la base de la masse et de l'humidité instantanée ou calculée à partir de la masse totale et de l'humidité moyenne. Ces deux méthodes ont été évaluées expérimentalement et les résultats ont montré une plus grande précision ainsi qu'une meilleure répétabilité pour la seconde (énergie calculée à partir d'humidité moyenne et de la masse totale). Ce sont donc ces résultats qui sont présentés dans ce rapport.

En moyenne, l'énergie mesurée sur la base du capteur micro-onde est inférieure de $1,9 \pm 4,8\%$ à la valeur de référence déterminée au laboratoire contre $2,1 \pm 2,9\%$ pour le capteur IR. Ces écarts sont, en faible partie, dû à l'erreur du capteur de masse.

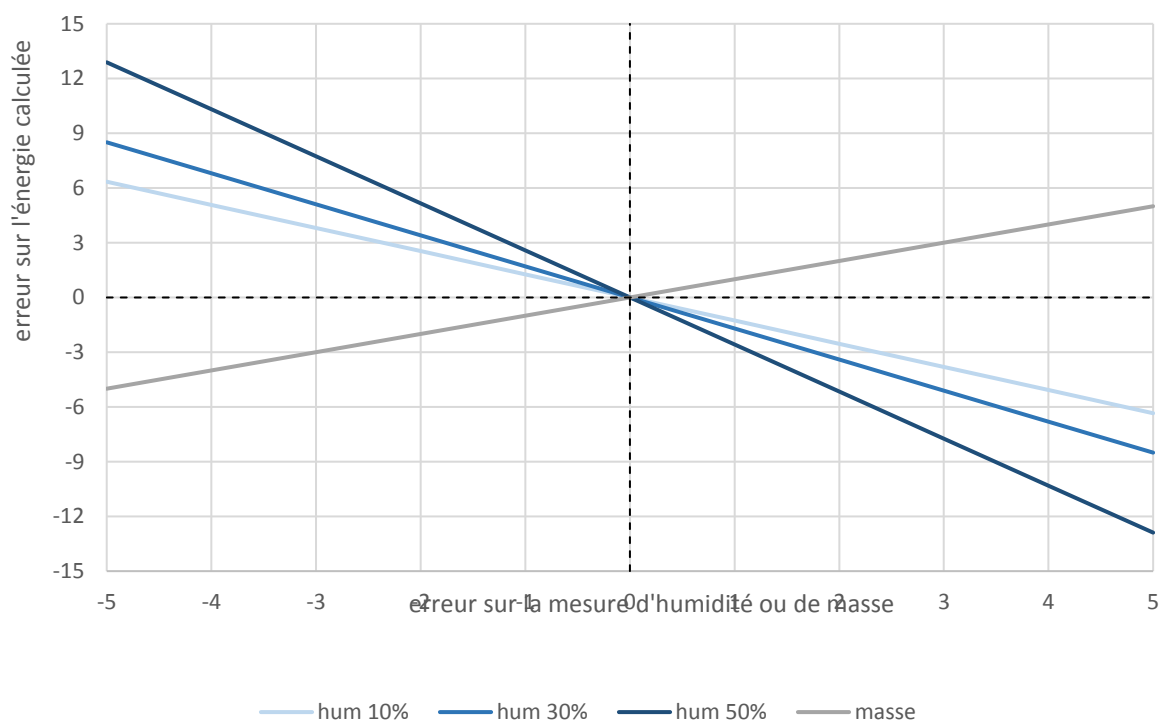


Figure 12 : influence de l'erreur de mesure de masse ou d'humidité sur le calcul de l'énergie

L'erreur sur la valeur d'énergie calculée correspond au cumul des erreurs relatives de mesure de la masse et de l'humidité. La Figure 12 met en évidence l'influence de chacune de ces erreurs sur la valeur finale. Celle-ci est directement proportionnel à l'erreur sur la mesure de masse (en vert dans le graphique) et inversement proportionnel à l'erreur sur la mesure d'humidité (exprimée en point d'humidité relative).

On observe que l'erreur sur l'énergie est d'autant plus importante que l'humidité moyenne des plaquettes est élevée. Par exemple, un écart d'un point sur la mesure d'humidité engendre 2,6% d'erreur sur la valeur finale d'énergie pour des plaquettes vertes (50% d'humidité) alors qu'elle n'est que de 1,5% pour des plaquettes sèches (20% d'humidité).



6 Détermination de l'énergie en conditions réelles

6.1 Conditions d'essai

Les essais de validation en conditions réelles d'utilisation se sont déroulés durant deux jours, sur le site de l'entreprise Germaplaket à Yverdon-les-Bains (Figure 13). Trois lots de plaquettes d'humidité, granulométrie, ou essence différente (environ 40 m³/lot) ont été utilisés à cette fin. Chaque lot a été mesuré deux fois.

Du fait du déchargement en continu de la matière, le dispositif de pesée de la trémie n'a pas pu servir pour déterminer les masses de référence. Pour ce faire, chaque lot a été pesé à l'aide d'une balance officielle à poids lourds avant le premier passage.

Afin de tenir compte de la part des plaquettes qui n'a pas été mesurée (plaquettes restées dans la benne ou dans la trémie, plaquettes tombées à côté de la trémie lors du déchargement, prélèvements...), la masse de référence des lots correspond à la masse de départ diminuée de 50 kg pour le premier passage et de 10 kg supplémentaire pour le second (estimation).

Des prélèvements de matière ont été réalisés à intervalles réguliers lors de chaque passage et analysés en laboratoire pour en déterminer le pouvoir calorifique et l'humidité de référence. Pour déterminer l'énergie contenue d'un lot de 40m³ de plaquettes forestières, il faut compter dix minutes.



Figure 13 : dispositif en conditions réelles, chez Germaplaket, avec chargement de 40 m³

Le nombre d'essais étant minimal (trois configurations d'essai, répété deux fois), les barres d'erreur sur les graphiques qui suivent ne représentent plus un intervalle de confiance à 95% (qui serait calculé à partir de deux échantillons dans ce cas) mais directement l'écart type.

Le choix des lots de plaquettes s'est porté sur trois produits qui devaient être livrés par la société Germaplaket à cette période de l'année et assez représentatifs de leur livraison en général. Leur courbe granulométrique se trouve en annexe, Figure 23, Figure 24 et Figure 25. Le code couleur reste le même que précédemment (voir introduction § 5).

6.2 Résultats obtenus

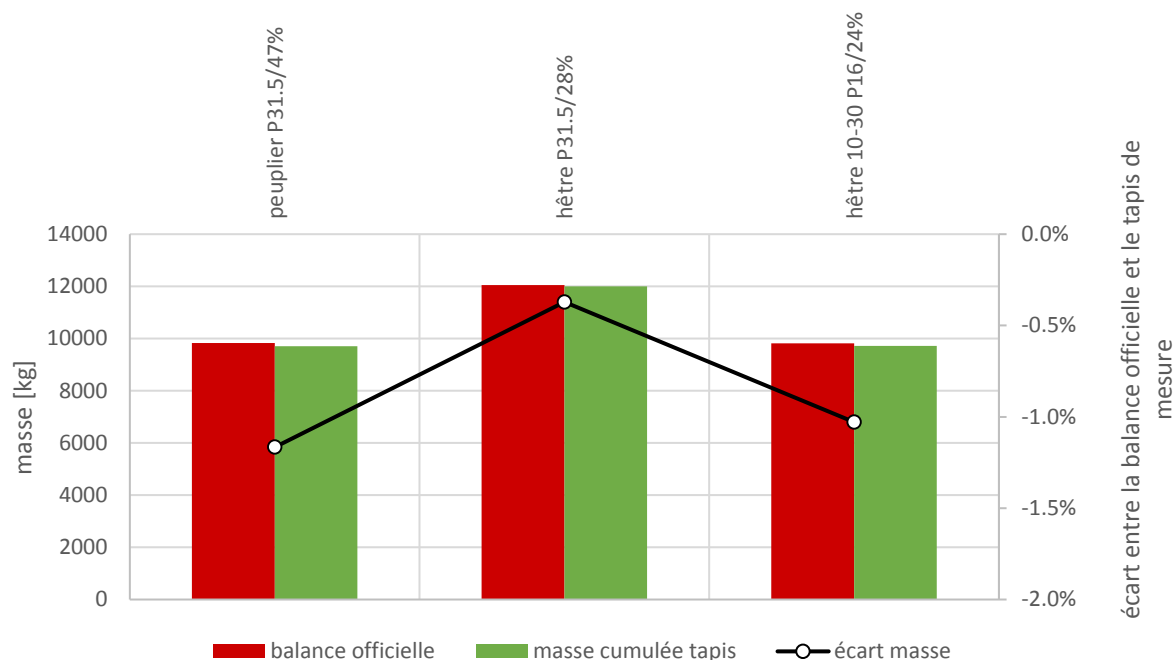


Figure 14 : comparaison entre la pesée de la benne et la masse cumulée

L'erreur moyenne sur la masse est de -0,9% avec une reproductibilité comprise entre $\pm 0,5\%$.

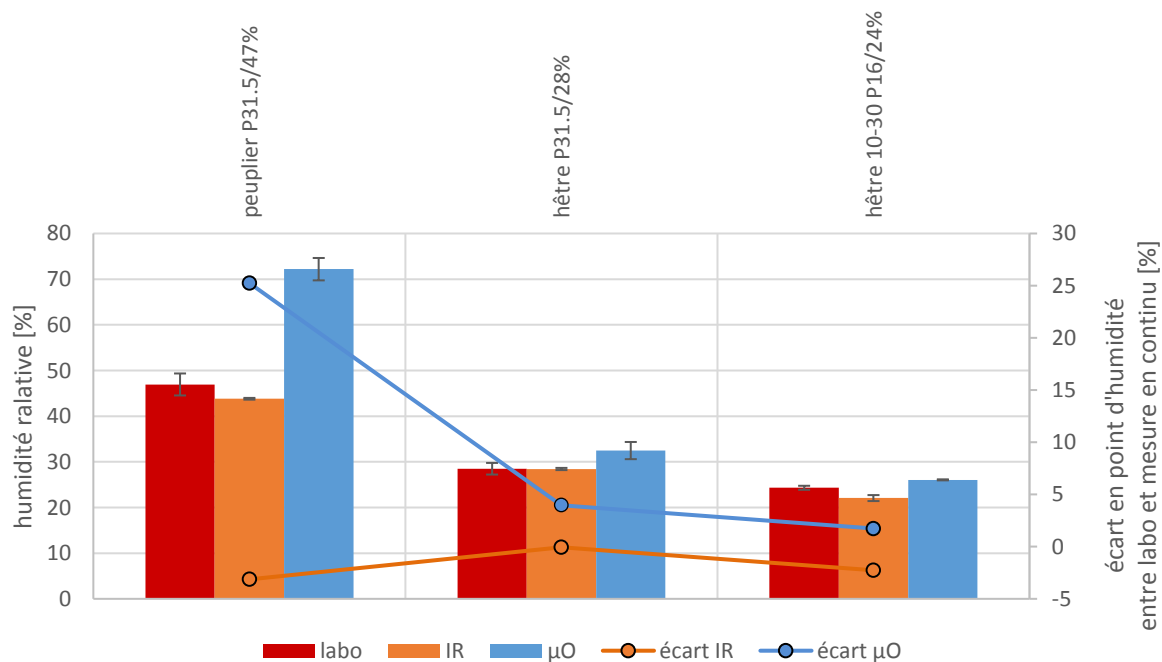


Figure 15 : comparaison entre l'humidité effective et celle mesurée par les capteurs IR et μO



Les capteurs d'humidité ont été calibrés pour fonctionner dans une plage de 20 à 40%. Le peuplier testé était à 47%. Si l'IR présente une différence avec ce qui a été déterminé au laboratoire (mais guère plus qu'avec le hêtre à 24%), le μO dépasse de loin la valeur cible. Il semble donc que ce dernier tolère moins bien une extrapolation par rapport à la plage de calibration que l'IR ou que l'humidité de surface était trop élevée dans ce cas, ce qui a pu humidifier la cellule de mesure du capteur et produire le même effet remarqué lors des essais d'arrosage en laboratoire (§ 5.2)

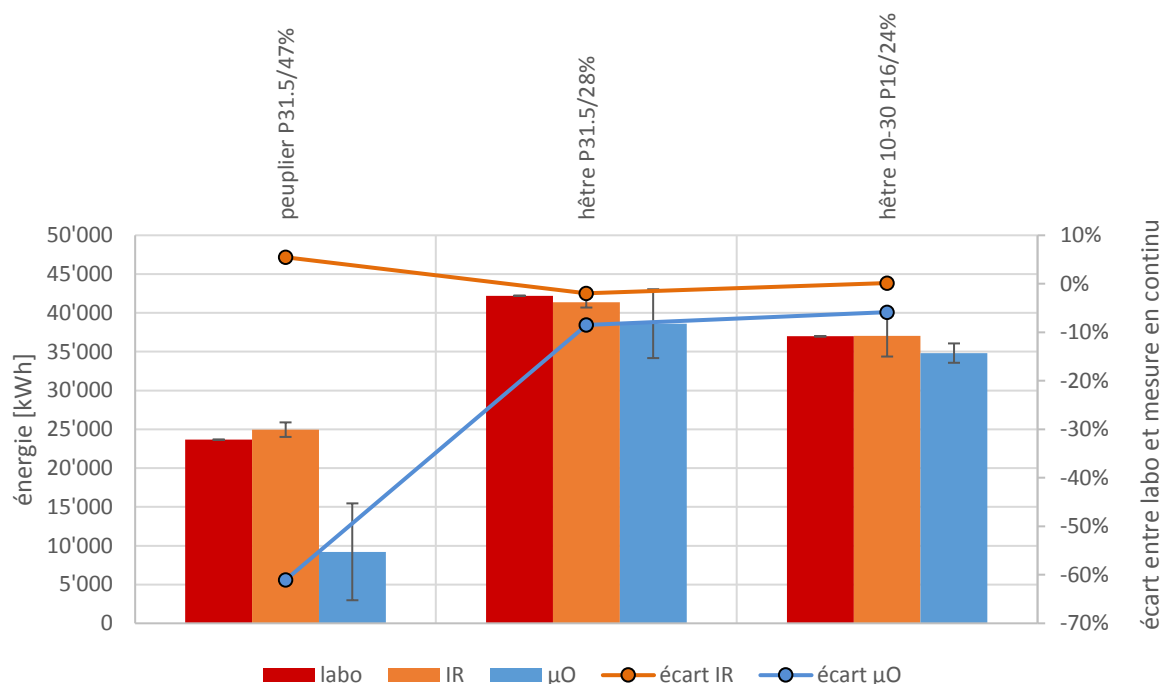


Figure 16 : comparaison entre l'énergie effective et celle déterminée via les capteurs IR et μO

La conséquence d'une erreur sur la mesure de l'humidité se voit directement sur la Figure 16, où les variations entre le laboratoire et le terrain peuvent atteindre 61% dans le cas de l'énergie déterminée à partir du capteur μO .

Si l'on reste sur la plage de calibration des capteurs d'humidité, soit entre 20 et 40%, l'erreur maximale sur l'énergie totale est 1,4 % pour l'IR et 9,5% pour le μO . Ces valeurs sont comparables aux erreurs tolérées sur les compteurs d'énergie thermique (comprise entre 2 et 7% en fonction de la classe et des conditions d'utilisation selon la norme EN 1434-1). Or, dans le cas d'une facturation sur la base d'un compteur de chaleur, il est très difficile d'estimer le rendement saisonnier de l'installation de production de chaleur, qui peut descendre jusqu'à 50% à 60% en fonction de la conception des installations, de leur entretien ainsi que des conditions d'exploitation.

En raison d'une trop faible tension du tapis de la trémie, adaptée aux conditions de test en laboratoire mais insuffisante pour la réception d'un déchargement de benne, le tapis avait tendance à patiner sur le rouleau entraîneur lors de ces essais. Ce phénomène a engendré une discontinuité plus ou moins importante lors du passage de la matière des deux premiers lots. Le tapis a finalement été retendu afin de passer le dernier lot de manière continue. Au vu des résultats, il apparaît que le système n'est pas affecté par l'irrégularité de passage de la matière (situation qui pourrait se produire lors d'un chargement de la trémie à l'aide d'un engin équipé d'un godet).



7 Analyse finale et bilan des essais réalisés

7.1 Capteur de masse

La détermination de la masse par rouleau peseur permet d'atteindre une précision de l'ordre du pourcent puisque la moyenne des résultats obtenus en conditions réelles est inférieure de -0,9% à ce qu'ils devraient être, avec une reproductibilité comprise entre $\pm 0,5\%$.

La valeur moyenne peut encore être améliorée en calibrant directement le système de pesée avec des charges supérieures à celle évaluées en laboratoire. En effet, le temps moyen de passage de calibration était de 30 s, avec des charges inférieures à la tonne. Sur le terrain, le temps est passé à environ dix minutes pour une masse totale allant jusqu'à douze tonnes.

Le dispositif de mesure permet de faire varier la vitesse du tapis mais au détriment de la calibration qui doit être alors ré-effectuée à chaque modification. Selon les premières impressions de l'entreprise Germaplaket (utilisateur potentiel), une telle variabilité n'est pas indispensable car un temps de déchargement de dix minutes est tout à fait acceptable. De ce fait, le dispositif de mesure qui sera commercialisé sera à vitesse de tapis constante.

7.2 Comparatif des capteurs d'humidité

Les essais ont permis de définir les points forts et faibles de chacun des capteurs. Un tableau récapitulatif (Tableau 2) résume les principales caractéristiques relevées suite aux différentes campagnes de mesure.

	<i>Infrabeld – IR</i>	<i>SWR - μO</i>
<i>précision sur la valeur d'humidité dans la plage de calibration</i>	2,3 %	4,0%
<i>répétabilité à 90%</i>	$\pm 1,5$ %	$\pm 4,2$ %
<i>facilité de calibration</i>	via PC, courbes transposables sur d'autres installations	via PC ou pupitre mais peu fiable dans ce cas, non transposable
<i>facilité de mise en œuvre</i>	facile, sans contact, nécessite un temps de préchauffage	nécessite un contact avec la matière
<i>coût</i>	env. 12'000 € à l'unité	4'600 € pour une unité, 8'400 € pour deux

Tableau 2 : performances comparées des capteurs d'humidité lors des essais en conditions réelles

Il ressort principalement le fait qu'il est plus difficile d'obtenir une calibration correcte avec le système SWR à micro-ondes et que le temps imparti en laboratoire (30 s en moyenne, voir § 4.3) est probablement trop court au regard de la dispersion du signal, comme le montre la Figure 17 (relevé lors d'un essai sur le terrain). Une calibration de ce type de capteur sur une période d'au moins cinq minutes devrait permettre de déterminer si une application de ce type est réellement possible et suffisamment



précise. Dans l'affirmative, il faudra ensuite évaluer si et dans quelle mesure la grande sensibilité à la présence d'eau en surface déjà évoquée au § 5.2 peut être atténuée.

Le capteur infrarouge est quant à lui plus facile à calibrer et nettement moins sensible à la présence d'eau en surface. Par ailleurs, la plage de mesure devrait pouvoir être étendue au-delà de 40% afin de couvrir toutes les situations pouvant être rencontrées en pratique. En conséquence, le capteur infrarouge développé par la société EDIT semble être le mieux à même de répondre au cahier des charges en terme de précisions, de répétabilité et de souplesse d'utilisation.

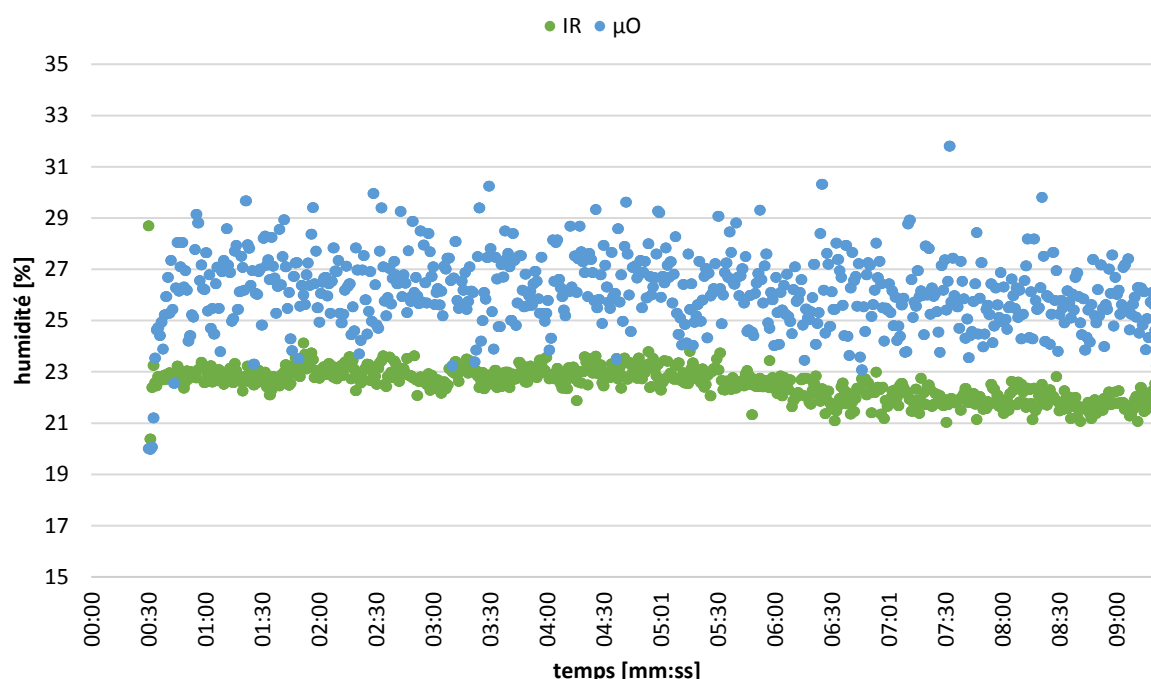


Figure 17 : humidité instantanée donnée par les capteurs IR et μO

7.3 Détermination de l'énergie

Comme cela a été vu au § 4.4, l'énergie est déterminée non seulement avec une mesure de la masse et de l'humidité mais aussi avec des valeurs constantes que sont le pouvoir calorifique supérieur sec (PCSsec) et le taux d'hydrogène (H) du combustible. Les essais ont été menés avec une valeur relativement conservatrice pour le PCSsec ($19,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ contre une moyenne réelle de $19,67 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) et 6,0% de taux d'hydrogène contre 6,1% en réalité.

Les essais de validation en conditions réelles ont mis en évidence le potentiel du système. Les résultats obtenus montrent que le dispositif développé répond déjà, en l'état, aux besoins du marché en terme de précision de mesure.



8 Conclusions

Les difficultés actuelles pour déterminer la quantité d'énergie délivrée par le fournisseur de plaquettes forestières et à l'utilisateur d'une installation de production de chaleur à valoriser son travail d'entretien, a débouché sur l'étude d'un système capable de mesurer l'énergie de manière continu et répétable lors de la livraison.

Les premiers essais réalisés en laboratoire ont permis de valider un concept comprenant une trémie de déchargement conformant la matière sur un tapis de mesure équipé de capteurs d'humidité de technologie différente (infrarouge et micro-onde) et d'un rouleau peseur. Une phase de validation en conditions réelles a confirmé les performances du système.

D'une part, la masse est mesurée avec une précision inférieure à 1 % et une répétabilité de l'ordre de 0,5%. D'autre part, le capteur d'humidité à infrarouge s'est révélé plus précis et plus fiable que celui à micro-ondes.

Les premiers essais en conditions réelles dans le terrain ont montré que le dispositif de mesure réalisé est capable de déterminer en 10 min l'énergie contenue dans une charge de 40 m³ de plaquettes forestières, d'une humidité de 20 à 40%, avec une erreur inférieure à 3%. Ces résultats doivent toutefois encore être confirmés par des essais complémentaires.

9 Perspectives

Compte tenu des résultats très prometteurs obtenus avec le dispositif de mesure et de l'enthousiasme suscité par les principaux acteurs du marché, il conviendrait de poursuivre le développement du dispositif par un projet pilote comprenant les étapes suivantes :

- simplifier le prototype actuel en supprimant tous les éléments (hardware et software) qui ne sont pas indispensables à son bon fonctionnement ;
- évaluer expérimentalement un autre dispositif de mesure de l'humidité par micro-onde, mais celui-ci sans contact avec les plaquettes (voir exemple annexe 12.1.4), dans le but de servir comme :
 - alternative au système infrarouge, au cas où les performances de ce dernier ne devaient finalement pas s'avérer suffisantes ;
 - capteur de référence et de calibration, s'il devait finalement s'avérer trop onéreux pour une application en série ;
- effectuer une étude de marché afin d'évaluer le coût unitaire du dispositif dans le cas d'une fabrication en petite ou moyenne série et définir la durée d'amortissement qui en résulte ;
- réaliser une ou plusieurs unités supplémentaires, en fonction des moyens alloués, et effectuer des essais d'endurance en conditions réelles d'utilisation sur une saison ;
- évaluer l'intérêt et la faisabilité d'équiper le dispositif d'un contrôle en continu de la granulométrie (voir exemple annexe 12.1.5) ;
- élaborer un procédé de calibration adapté dans le but d'entreprendre les démarches nécessaires à obtenir une certification reconnue pour pouvoir servir de base à la facturation.

Au terme de ce projet pilote, le dispositif devrait avoir atteint un niveau de développement suffisant pour débuter sa phase de commercialisation.



10 Valorisation et dissémination

Au-delà du présent rapport et dans le but de communiquer le plus efficacement possible les résultats de ce projet, une vidéo de présentation a été réalisée en janvier 2018 par le département COMunication - Engineering – Management (COMEM) de la HEIG-VD dans le cadre d'une démonstration dans le terrain. Elle est à disposition de toutes les parties prenantes et intéressés potentiels (contact : julien.ropp@heig-vd.ch).

11 Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement tous les acteurs ayant permis de mener ce projet à bien et en particulier :

- nos partenaires financiers à parts égales : le Canton de Vaud et l'OFEN ;
- nos partenaires techniques et logistiques : Aficor et GERMAPLAKET.



12 Annexes

12.1 Descriptifs des capteurs

12.1.1 Capteur d'humidité infra-rouge



INFRABIOMASSE

Appareil de mesure d'**HUMIDITÉ** infrarouge on line pour les **industries de l'éco-énergie**



Biomasse

Optimiser le PCI pour garantir un meilleur rendement thermique, assurer le pouvoir calorifique, tout en protégeant le foyer.

Compost

Contrôler la qualité du compost tout en régulant le procédé.

Pellets

Garantir un taux d'humidité < 10 % pour un meilleur colmatage et une densité optimale.





INFRABIOMASSE

- Mesure d'humidité
- Mesure en ligne
- Mesure en continu
- Mesure en temps réel
- Sans contact
- Spécifique éco-énergie
- Robuste et adapté aux environnements difficiles
- Simple d'installation
- Simple d'utilisation
- Autonome

INFRABIOMASSE est un nouveau capteur INFRAROUGE intelligent, spécialement développé pour la mesure d'humidité des produits éco-énergétiques, biomasse, compost, pellets, granulés bois, plaquettes forestières et papetières, copeaux.

INFRABIOMASSE permet aux industriels des secteurs de l'éco-énergie de mesurer l'humidité en temps réel, simplement, avec précision et fiabilité.

INFRABIOMASSE optimise ainsi le PCI, garantit un meilleur rendement thermique, permet le contrôle qualité de la transformation, de la fabrication ou de la réception des produits éco-énergétiques.

INFRABIOMASSE est basé sur les 20 ans d'expériences acquises dans la mesure industrielle en ligne et dans le développement INFRAROUGE d'appareils de mesure et d'essai, par la société EDIT.

INFRABIOMASSE utilise en conséquence les dernières technologies INFRAROUGE, en combinant notamment plusieurs longueurs d'onde d'absorption de la molécule d'eau, pour s'affranchir au mieux des limites de la technologie NIR et assurer ainsi la meilleure précision de mesure, quelles que soient les variations du process et des produits à mesurer.

INFRABIOMASSE se compose de parties optiques, mécaniques et électroniques spécifiquement étudiées pour travailler dans les conditions de process des industries de l'éco-énergie.

INFRABIOMASSE est l'appareil de mesure d'humidité idéal pour l'amélioration de la rentabilité et le contrôle qualité des industries de la biomasse, du compost et de l'environnement.



Biomasse



Pellets



Compost



Digestat



Plaquettes bois



Appareil de mesure d'humidité infrarouge en version on line

Principe de mesure NIR

INFRABIOMASSE est équipé de filtres interférentiels qui sélectionnent **plusieurs longueurs d'onde** correspondant aux pics d'absorption NIR des molécules d'eau.

Une source lumineuse continue à large bande spectrale irradie l'échantillon à mesurer. Une partie de ce rayonnement est rétro diffusée, et concentrée par un miroir sphérique sur le capteur.

Le flux récupéré est corrélé à la concentration du produit à mesurer et donc de la lumière absorbée.

Les valeurs sont ensuite traitées et une calibration est créée pour pouvoir lire directement la mesure d'humidité.

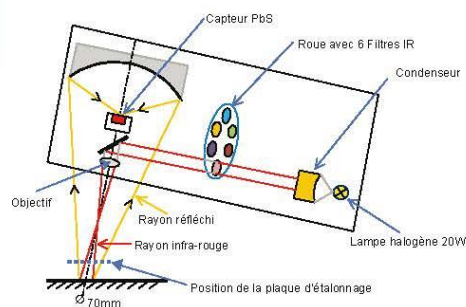


Schéma fonctionnel

Avantages INFRABIOMASSE

Les pièces fonctionnelles de l'INFRABIOMASSE ont été étudiées, choisies ou développées par les départements de R&D optique, mécanique et électronique d'EDIT...

- filtres interférentiels
- lampe halogène
- capteur PBS
- lentilles optiques
- tube de visée
- capotage et base mécanique

...pour repousser les limites fonctionnelles de l'INFRAROUGE et permettre une mesure fiable et précise y compris sur les process très variables.

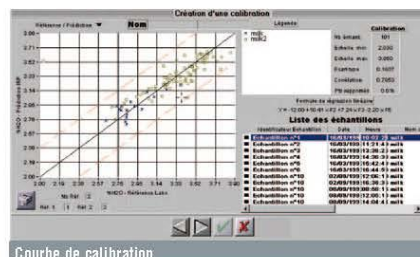
- variation de la granulométrie produit
- variation de la couleur
- variation de la hauteur de couche
- variation de la température
- variation de la luminosité ambiante
- process continu ou discontinu
- mesure toutes les 33,3 ms
- surface de mesure 70 mm

EDIT HMI + EDIT INFRA software

INFRABIOMASSE est livré avec le logiciel Infra Software.

Fonctionnant sous windows®, ce dernier est développé en version standard sous forme de modules permettant simplement la calibration du capteur et l'exploitation de la mesure.

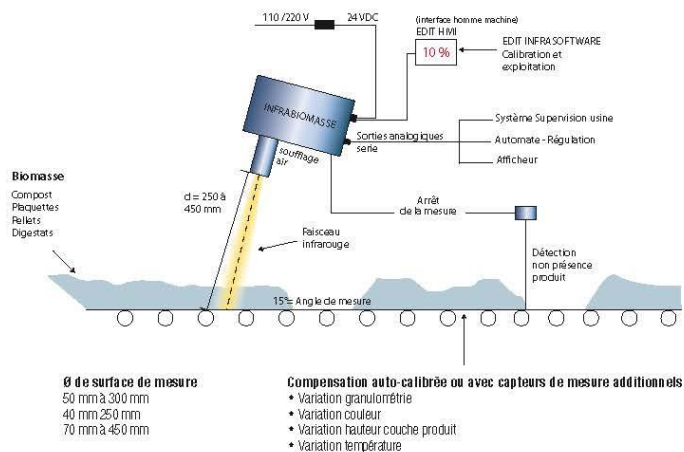
- calibration par échantillonnage
- affichage de la mesure
- sélection des produits
- paramétrages
- traçabilité et suivi de la production



INFRABIOMASSE - Configuration et installation

Très simple d'installation,
de configuration et
d'utilisation.

Un des appareils de mesure d'humidité les plus flexibles et fonctionnels du marché pour l'éco-énergie.



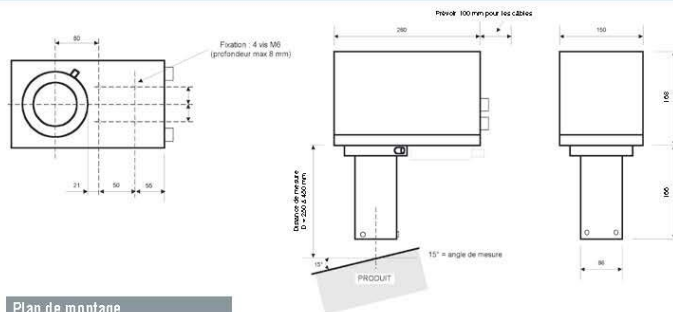
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Gamme de mesure :	0,2 à 98 % H ₂ O
Alimentation :	24 VDC
Temps de réponse :	100 ms
Résolution :	0,01 %
Sortie :	Analogique, série
T° d'utilisation :	jusqu'à 50° C en température ambiante
IP :	65 (66 en option)

version ATEX

Protection complémentaire pour environnements difficiles

- Plaque de refroidissement AIR
- Plaque de refroidissement EAU
- Système de soufflage AIR pour protection optique



Plan de montage

Dimensions en mm



www.edit-laser.com
info@edit-laser.com

EDIT est une société FRANÇAISE, spécialisée depuis plus de 20 ans dans la conception et la fabrication d'appareils de mesure et d'essai pour l'industrie.

EDIT fournit annuellement plusieurs centaines d'appareils Infrarouge et Micro-onde à ses clients industriels au niveau mondial, pour que ces derniers puissent contrôler simplement et avec précision leur process.

EDIT investit fortement tous les ans en France en moyens humains et matériels afin de garantir à ses clients internationaux la même qualité en terme d'innovation produit et de fiabilité de résultat. EDIT est un membre actif de nombreux pôles et clusters technologiques, et est reconnu comme un acteur innovant du marché.

EDIT SAS

Siège Social

ZI. rue Thomas Edison
33600 PESSAC
France
Tel : 0033 (0) 557 261 713

Usine

174 rue des Pépinières
69400 ARNAS
France
Tel : 0033 (0) 474 094 880

EDIT China

EDIT PROCESS CONTROL
ENGINEERING CO., LTD
B-601, Appt 4, SISPARK, 328 Xinghu Road
Suzhou Industrial Park, China
Tel : 0086-(0)512-62791055

12.1.2 Capteur d'humidité micro-ondes

Competence in Solids

SWR
engineering

M-Sens 2

Mesure d'humidité
en ligne et en continu



Information Produit

SWR engineering Messtechnik GmbH



Utilisation

M-Sens 2 a été spécialement conçu pour déterminer la teneur en humidité des matières solides dans des process de fabrication en continu. Bien sûr, cela inclut également la mesure dans des process discontinus. M-Sens 2 est utilisé pour effectuer la mesure des taux d'humidité en ligne :

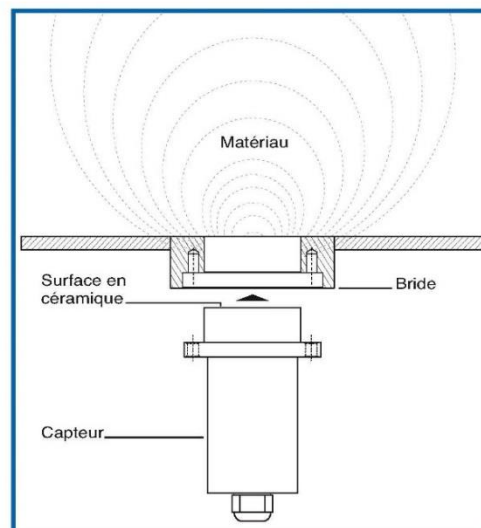
- des poussières, poudres, granulés, copeaux, et autres
- dans diverses positions de montage



Un montage simple et une calibration facile caractérisent le M-Sens 2. La résistance de l'ensemble du capteur aux chocs, à l'eau et à l'abrasion lui garantit une fiabilité de fonctionnement et une longue durée de vie. La fenêtre de mesure de la sonde est protégée par un disque en céramique mixte qui présente une bonne résistance mécanique à l'abrasion et à la pression.

Fonctionnement

Le capteur du M-Sens 2 se base sur une mesure haute fréquence de grande précision et une numérisation directe des valeurs mesurées, permettant ainsi une haute résolution. Le taux d'humidité de la matière peut-être calculé avec précision grâce à l'influence de l'humidité de surface et de l'humidité capillaire d'une matière sur sa constance diélectrique pour des densités en vrac constantes. Il est à noter que les variations de valeur liées aux densités en vrac sont compensées par une fonction de filtre interne tout comme les variations de valeur liées à la température. L'utilisateur peut lui-même effectuer le calibrage du système sans grande difficulté. Il s'effectue après le montage de l'appareil par simple pression de bouton et par saisie du taux d'humidité de référence.

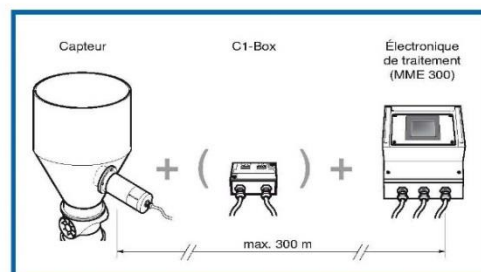


Système

Un ensemble de mesure complet est composé de :

- 1 bride à souder
- 1 à 3 capteurs avec câble de branchement de 2 m
- électronique de traitement MME 300
- C1-Box pour le raccordement du capteur à l'électronique

Le capteur est raccordé à l'électronique avec un câble blindé à 4 fils. La longueur du câble ne doit pas dépasser 300 mètres.

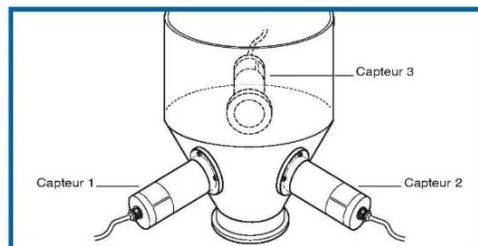




Utilisation de plusieurs capteurs

Les imprécisions induites par un manque d'homogénéité des matières peuvent être réduites grâce à l'utilisation de 3 capteurs maximum raccordés à une unité de traitement MME 300.

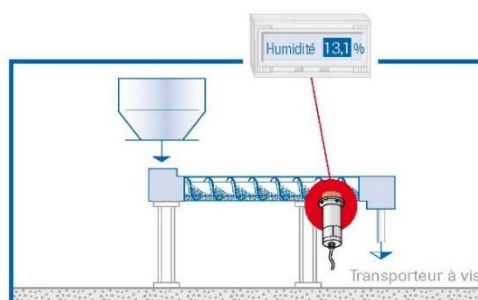
L'influence des variations de densité en vrac est réduite sur l'ensemble de la plage de mesure en même temps.



Exemples d'applications

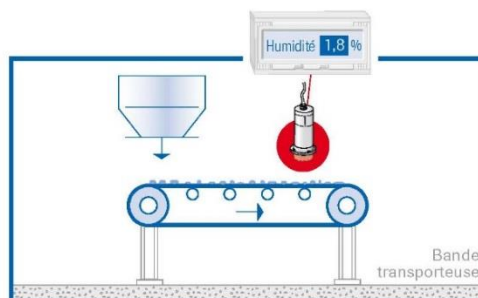
▪ Montage sur vis transporteuse

Le montage du capteur d'humidité sur les transporteurs à vis s'est avéré particulièrement intéressant car le produit passe régulièrement et avec une densité en vrac assez constante devant la sonde.



▪ Montage sur une bande transporteuse

Grâce à la mesure en ligne du taux d'humidité de matières en vrac sur une bande transporteuse, il est possible de réagir rapidement, si les matériaux sont trop humides ou trop secs. Cette mesure permet d'éviter des obstructions par agrégats successifs.



▪ Montage dans un réservoir

Une autre possibilité de montage du M-Sens 2 est à la sortie des réservoirs.

En raison de la densité en vrac constante des matières lorsque le réservoir est plein, le capteur se trouve en face d'un champ magnétique relativement constant lors de la détection du taux d'humidité résiduelle.

Grâce au M-Sens 2, il est possible d'éviter qu'une matière trop humide arrive aux étapes successives de la production ou au chargement.



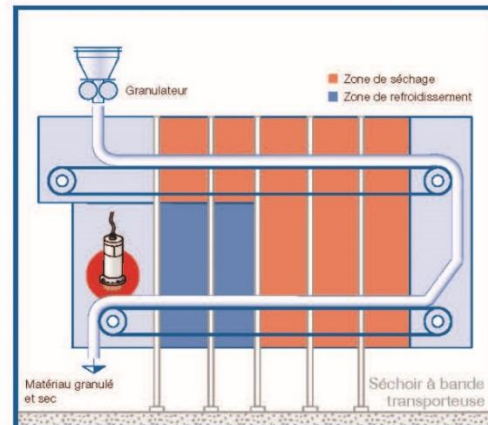


▪ Commande de séchoir à l'aide de la mesure en ligne du taux d'humidité

Le produit sur la courroie est évacué de la zone à air chaud après avoir traversé le tunnel de séchage. A la fin du tapis, le produit séché tombe dans un transporteur à vis pour accéder aux étapes suivantes de la fabrication.

Pour les responsables du process, la question suivante se pose : Le produit a-t-il vraiment atteint le taux d'humidité résiduelle souhaité ? A savoir : la durée et la température ont-elles été bien choisies ?

Afin d'effectuer ce réglage le M-Sens 2 vous donne des taux d'humidité fiables en ligne. Ceux-ci permettent de maintenir des taux d'humidité à la sortie constants dans d'étroites limites de tolérance. L'optimisation du process offre un fort potentiel d'économie et permet une amélioration de la qualité.



▪ Mesure du taux d'humidité dans les mélangeurs

Le M-Sens 2 peut aussi être installé plus loin dans tous les types de mélangeurs. L'enregistrement des valeurs de mesures s'effectue alors avec le mélange des matières lors du procédé de mixage.

Grâce au taux d'humidité des matières qui se trouvent dans le séchoir, il est possible de régler des paramètres tels que la durée de traitement et les volumes à ajouter.

Pour ce faire, le M-Sens 2 est raccordé à un système PLC ou un autre système de contrôle process.





Facilité de mise en service

Le calibrage du M-Sens 2 s'effectue à partir d'un nombre quelconque de points de référence faciles à saisir. Même un seul point permet d'obtenir une indication suffisante du taux d'humidité relatif.

Plus vous saisissez de points de repères, meilleure sera la précision du calcul instantané du taux d'humidité relative de votre produit.

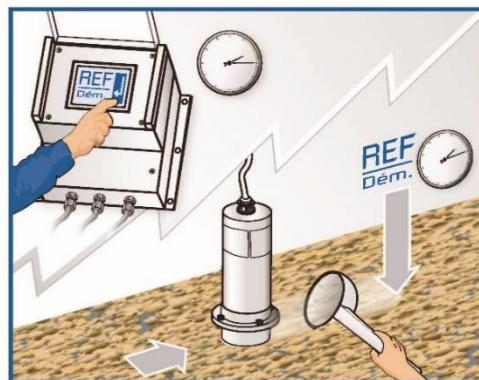
1 Prélèvement

Pour calibrer le M-Sens 2, lancez l'enregistrement du point de référence sur l'écran de commande de l'unité de traitement. La mesure du point de référence par le capteur M-Sens 2 dure alors une minute.

Pendant ce temps, pour les matières en mouvement comme par exemple sur une bande transporteuse, effectuez un prélèvement peu après le capteur.

Si possible, effectuez plusieurs prélèvements durant cet intervalle de temps.

Si l'endroit où s'effectue le prélèvement se trouve loin du capteur (c.-à-d. lors d'une mesure en silo ou dans un transporteur à vis), attendez que la matière qui se trouvait sous le capteur au début du calibrage atteigne cet endroit. Lorsque la matière ne se déplace pas, attendez la fin de la mesure du point de référence, puis effectuez si possible le prélèvement dans la zone de mesure située sous le capteur M-Sens 2.



2 Test en laboratoire

En laboratoire, déterminez le taux d'humidité relative de l'échantillon prélevé.

Plus le prélèvement correspond au matériel situé sous le capteur durant la mesure du point de référence, plus le calibrage du M-Sens 2 sera précis.



3 Saisie du taux d'humidité

A la fin de la mesure du point de référence (durée : env. 1 min), l'unité d'évaluation attend que vous saisissez le taux d'humidité relative déterminé en laboratoire.

Saisissez cette valeur dans l'unité d'évaluation.

Le calibrage du point de référence est alors terminé.

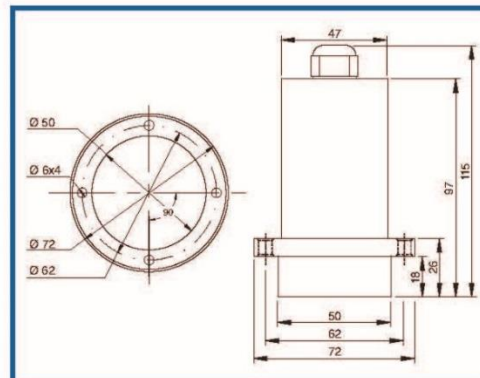




Données techniques

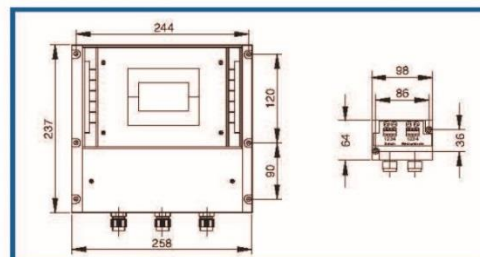
Capteur

Boîtier	Acier inoxydable 1.4571
Surface en contact	Céramique
ATEX (option)	Zone 20 (Poussière), Zone 0 (Gaz)
Type de protection	IP 67 selon EN 60529
Température de la matière et ambiante	0 ... +80 °C, optionnel 120 °C
Pression de service	Max. 10 bar
Consommation	0,6 W
Temps de réponse	0,1 sec
Poids	Env. 1000 g
Plage de mesure	0 ... 65 % humidité résiduelle (dépend des matières solides)
Précision de mesure	± 0,1 % (en plage de mesure calibrée)
Câble de connexion	Conduite blindée à 4 fils (0,25 mm ²)



Unité de traitement

Tension d'alimentation	110/230 V AC (50 Hz) / 24 V DC
Consommation de puissance	20 W / 24 V
Consommation de courant	Max. 1 A à 24 V
Type de protection	IP 65 selon EN 60529/10.91
Température ambiante	-10 ... +45 °C
Dimensions	258 x 237 x 174 mm (LxHxP)
Poids	Env. 2,5 kg
Interface de communication	RS 232, RS 485 (ModBus)
Câble	3 x M16 (4,5...10 mm ø)
Vis de fixation	0,2...2,5 mm ² [AWG 24-14]
Courant de sortie	1 x 4 ... 20 mA (0 ... 20 mA), charge < 500 Ω
Relais des alarmes (sortie)	Relais avec un contact sec Max. 250 V AC, 1 A
Entrées numériques	2 x entrées pour signaux de commande actifs et externes
Sauvegarde des données	Flash



Certifié ATEX

12.1.3 Système de mesure de débit massique TELEMETRIX

Pesage dynamique des produits vrac



Intégrateur de pesage dynamique TMX110



TMX110 STD

- ◆ Affichage en claire des valeurs : Débit, Poids Total, Vitesse, Anomalie ...
- ◆ Affichage multi langue : Français, Anglais, Néerlandais, Allemand (autre langues possible)
- ◆ Boîtier encastrable ou étanche pour usage extérieur.
- ◆ Communication universel : liaison analogique et numérique en standard.
- ◆ Calibration automatique et/ou par essai matière.
- ◆ Sauvegarde sur clé USB de la configuration.
- ◆ Auto-diagnostic de l'ensemble des organes qui compose la bascule : Capteurs, E/S ...
- ◆ Mise à jour du micro-logiciel par internet

Pesage en continu de produit vrac

La nouvelle série des calculateurs **TMX101** est une aide précieuse à la gestion de votre production des produits vrac. Couplé avec un capteur de poids et de vitesse, le calculateur TMX101 est conçu pour le pesage sans arrêt d'une charge sur un convoyeur à bande transporteuse ou a rouleaux, vis d'Archimède.

Applications

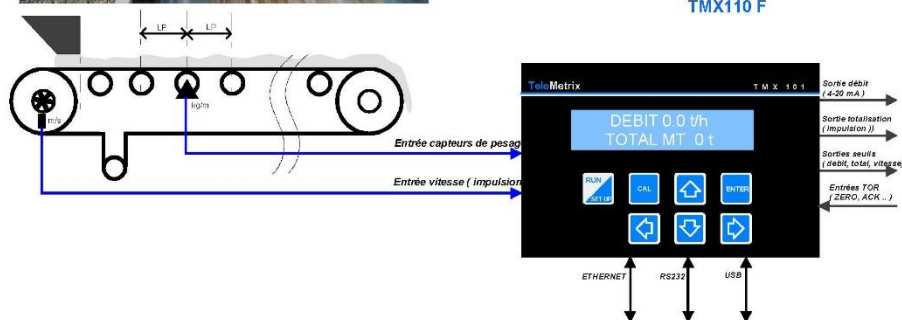
Détermination du débit et de la quantité total des produits minéral ou alimentaire. Régulation des alimentations des concasseurs, cribles, sécheur...
Contrôle de débits en continu des concasseurs primaire et secondaire en carrière.

Communication

Le **TMX101** dispose en standard une interface **ETHERNET**, **USB** et des bornes Entrées/Sorties traditionnelles assurant une parfaite compatibilité avec la plupart des automatismes et bascule existante ou future.



TMX110 F





XYLOCHIPS

Intégrateur de pesage dynamique TMX101

Caractéristiques

Calculateur à microprocesseur à menu déroulant.
Affichage graphique LCD rétro éclairé :
Débit instantané
Totalisation & sous-total (2 registres)
Vitesse de bande
Diagnostic et calibration auto
Clavier à membrane 7 touches FACE AVANT ETANCHE.
Alarme et auto diagnostic en claire.
Alimentation jusqu'à 8 capteur a jauges de contraintes.
Convertisseur A/D 24 bits.
Entrée digitale pour capteur de vitesse.
Liaison RS232/422 (Imprimante ou autre périphériques).
Liaison ETHERNET (Modbus TCP & serveur WEB).
Prise USB pour clé mémoire
2 sorties TOR programmables (contact sec).
2 entrée programmables.
Sortie analogique 4-20 mA en standard.

TMX 110 F

Boîtier étanche IP65. Dimension 300 X 250 X 160 mm.

TMX 101 STD

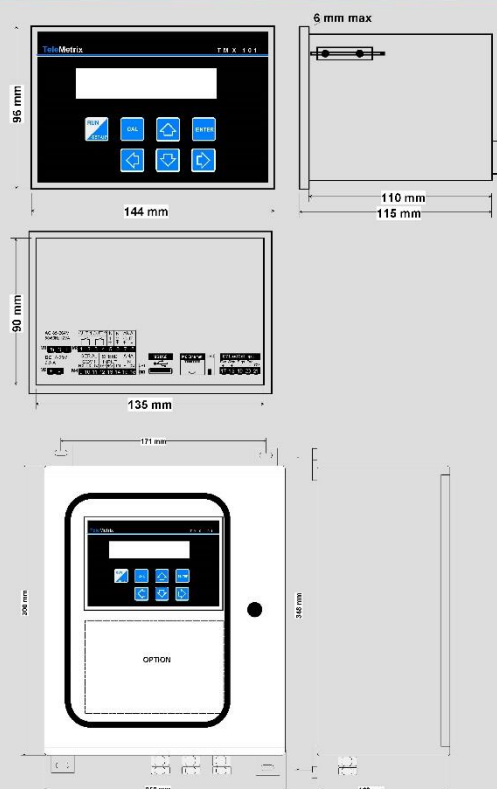
Boîtier encastrable, face avant étanche IP65.
Dimension 96 x 96 x 124 mm.

TMX 110 D

Boîtier pour RAIL DIN (version transmetteur)
Dimension 96 x 96 x 124 mm.

Alimentation (multi-tension)

90-240 Vac – 50/60 Hz 20 VA.
24 Vcc 1.5 A.



OPTION

Concentrateur G306

Le G306 est un afficheur graphique tactile destiné à l'interconnexion de 1 à 16 TMX101 au moyen d'un réseau ETHERNET, RS485 ou fibre optique. Il centralise les informations et assure la traçabilité de votre production.



Produits associés



Capteur de vitesse
TNRV



Capteur de pesage



Bascule compact
10-10



Bascule compact
10-20



Logiciel de pesée
Net-scales

Rendez vous www.dynamique-pesage.fr

Votre contact



Telemetrix

SARL TELEMETRIX

BP118 79, Rue de la Gare 78370 PLAISIR FRANCE

contact@telemetrix.fr www.telemetrix.fr

Téléphone : (+33) 0972 11 00 03 Télécopie : (+33) 0972 11 00 57

12.1.4 Capteur d'humidité micro-ondes Moistscan



the global leader in
online moisture analysis...



MoistScan® MA-500

On-Belt Microwave Moisture Analyser

General Description

The MA-500 is ideal for use on non-conducting materials with low to medium moisture content and relatively low bed depth.

The analyser fits to a standard belt conveyor. It has a rugged c-frame configuration, is supplied fully assembled and is easily installed. Standard in the MA-500 are a range of communication options for sending and receiving data. Its user-friendly features are designed to make commissioning, calibration and system integration straightforward. Data storage and connectivity capabilities of the MA-500 enable technical support via remote access for diagnostic purposes and periodic calibration verification.



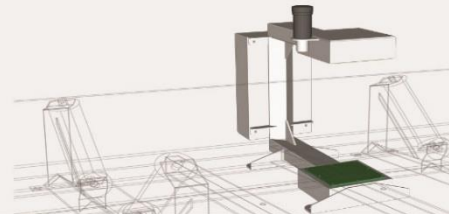
MINING	AGRICULTURE	CHEMICALS	BUILDING MATERIALS	FOOD	BIOFUELS
--------	-------------	-----------	--------------------	------	----------

	Benefits	Features
	• Superior Precision and Accuracy	<ul style="list-style-type: none"> Analyses 100% of the material on the conveyor from top to bottom. Uses MoistScan®, the most widely used online microwave analysis technology on the market for measuring moisture in bulk materials.
	• Belt Scale not required	<ul style="list-style-type: none"> Measures the bed depth of the material to compensate for mass flow rate. Other microwave analysers may require an input from a beltweigher or a radioactive source
	• Non Contact	<ul style="list-style-type: none"> No contact with the material being analysed
	• Non Nucleonic	<ul style="list-style-type: none"> No radioactive source is required
	• Low Whole of Life Costs	<ul style="list-style-type: none"> As no beltweigher or radioactive sources is required ongoing costs associated with servicing and regulatory compliance is minimal
	• Easy to Install	<ul style="list-style-type: none"> Fully assembled and easily bolts to the stringer supports of the conveyor
	• Seamless Plant Integration	<ul style="list-style-type: none"> Wide range of communication options for transmitting data to Plant PLC
• Remote Access Calibration & Servicing	<ul style="list-style-type: none"> Cost-effective remote communication access for periodic checking of calibration 	

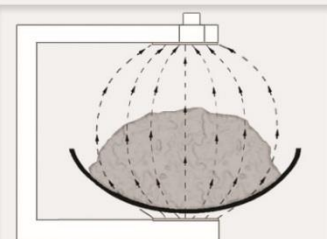
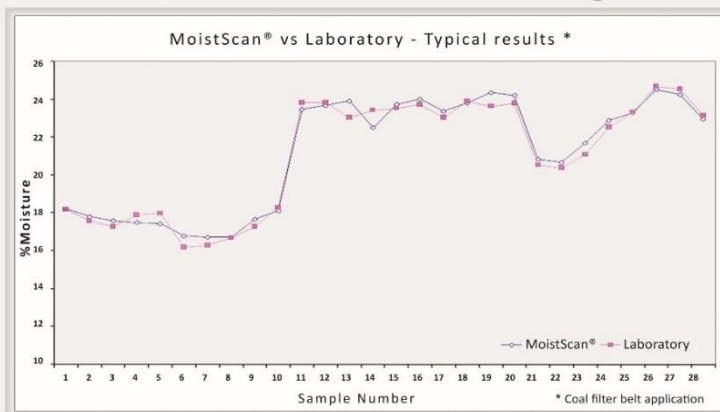
callidan.com
Callidan Instruments



XYLOCHIPS



The MoistScan® microwave advantage



"MoistScan® analyses the entire cross-section of material as it is conveyed identifying variations in moisture throughout the profile."

Specifications

Instrument Precision:	Typically 0.3% at 1SD (subject to application and material composition)
Measurement Range:	0 to 90% moisture
Measurement Freq:	50Hz
Communications:	Ethernet TCP/IP, Modbus (in-built protocol converter enables connection via most popular brand communication protocols)
Operator Interface:	LCD touch panel display on control cabinet (colour & trend display options)
Operating Temp Range:	0 to 50° Celsius (extreme temperature options)
Humidity Range:	0 to 90% relative (non-condensing)
Power:	110/240VAC 60/50Hz, 300 watts maximum dissipation (24V, 48V DC options)
Control Cabinet:	Steel powder coated NEMA 4X/IP66 (stainless steel, food grade CIP, explosion proof options)
Frame:	Aluminum powder coated (stainless steel, food grade CIP, custom size options)
Outputs:	Instantaneous moisture and average moisture via 2 x 4-20mA analog outputs (digital output via RS232, RS485, serial/ethernet options)

Your local MoistScan® Representative:

AUSTRALIA - HEAD OFFICE

Ph: 617 49 555 966 | Fx: 617 49 557 338 | www.callidan.com
Lot J Mackay Marina Village, Mulherin Drive.
PO Box 6920 Mackay MC. QLD AUSTRALIA. 4741

GLOBAL REPRESENTATIVES

Americas | Europe | Asia | Oceania | Africa | Middle East



callidan.com

Callidan Instruments

12.1.5 Détermination de la granulométrie en continu AUTOMELEC



tamisoft

**UNE TECHNOLOGIE,
3 PRODUITS**

découvrez la mesure
de granulométrie
en continu sur
bande transporteuse



PRIX DE L'INNOVATION DÉFIS PM3I 2012

autom'elec
au service des carrières & TP



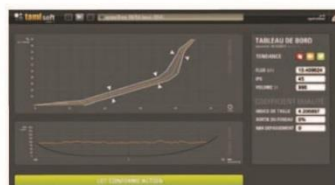
→ TAMIssoft *labo*

CONTRÔLE GRANULOMÉTRIQUE EN CONTINU SUR BANDE TRANSPORTEUSE



Entrez dans l'ère du contrôle qualité en continu avec la technologie TAMIssoft.

1. Contrôle qualité des produits finis.
2. Rapport par lot produit.
3. Optimisation des opérations laboratoire.
4. Historisation et traçabilité en ligne des données aux normes N.F. et C.E.
5. Interfaçage possible avec le logiciel **Wil** de la société **ARCADE**.



▲ TAMIssoft c'est aussi une interface utilisateur simple et ergonomique



▲ Des rapports complets pour augmenter votre compétitivité



→ TAMlsoft *tendance*

SURVEILLANCE DES DÉRIVES GRANULOMÉTRIQUES



Maîtrisez votre boucle de recyclage avec la technologie embarquée de TAMlsoft.

1. Surveillance des dérives granulométriques.
2. Contrôle qualité sortie broyeur.
3. Communique avec tout système de contrôle commande, pour gérer en automatique le serrage broyeur.



L'INNOVATION AU SERVICE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

→

TAMlsoft *débit*

MESURE DE DÉBIT SUR BANDE PAR VISION 3D







Installez un capteur de nouvelle génération mesurant les débits volumiques, massiques et le taux d'humidité.

1. Mesure sans contact, pas d'usure, ni d'étalonnage fréquent.
2. Mesure de débit sur bande pour les matériaux de faible densité.
3. Précision de la mesure pour de faibles débits.
4. Possibilité de déterminer le taux d'humidité des matériaux en couplant le système à une bascule intégratrice sur bande.

←















TAMISOFT : UNE TECHNOLOGIE, 3 PRODUITS

L'innovation au service de l'industrie minérale

	labo	tendance	débit	
TECHNOLOGIE VISION 3D *	✓	✓	✓	EXCLUSIF
COMPATIBILITÉ AVEC TOUT SYSTÈME DE CONTRÔLE COMMANDE	✓	✓	✓	
GESTION MONO-CAPTEUR (1 POINT DE MESURE)	✓	✓	✓	
GESTION MULTI-CAPTEURS (2 À 4 POINTS DE MESURE)	✓			
SURVEILLANCE DU GRAND D	✓	✓		
SURVEILLANCE ET PILOTAGE DU BROYEUR	✓	✓		
SURVEILLANCE ET PILOTAGE RECOMPOSITION	✓	✓		
MESURE DE DÉBIT	✓		✓	
INTERFAÇAGE AVEC LE LOGICIEL DE LABORATOIRE WIL by ARCADE	✓			
CALCUL DU TAUX D'HUMIDITÉ **	✓		✓	EXCLUSIF
VERSION EMBARQUÉE		✓	✓	
CONTRÔLE GRANULOMÉTRIQUE	✓			
COURBE GRANULOMÉTRIQUE	✓			
EDITION D'UN RAPPORT PAR LOT DE PRODUIT *	✓			EXCLUSIF
VERSION STATION DE TRAVAIL POUR INTERFACE HOMME/MACHINE	✓			
COMMERCIALISATION PAR VENTE	✓	✓	✓	
COMMERCIALISATION PAR LOCATION	✓			

* Exclusivité TAMISOFT

** Si couplé avec une bascule sur bande

TAMISOFT by AUTOM'ELEC, lauréat du prix DÉFIS PM3i 2012 de l'innovation

Ce prix soutenu par l'ADEN, et le Crédit Agricole entre autre, a notamment pour but de promouvoir l'**intelligence numérique** auprès des PME industrielles en France.

L'idée est d'aider en situation concurrentielle, l'innovation à se développer dans les PME/PMI. Les sociétés comme autom'elec doivent avoir des outils de différenciation et de création de valeur ajoutée, TAMISOFT fait parti de ces produits.



www.autom-elec.com



XYLOCHIPS



**plus qu'un simple
partenariat,
nous souhaitons
créer les outils
qui feront vos
succès futurs pour
vous et avec vous !**



UNE EQUIPE, DES MÉTIERS, UN SAVOIR-FAIRE

La société autom'elec est une entreprise stéphanoise créée en 2004. Composée d'une équipe d'une vingtaine de collaborateurs, elle réalise un chiffre d'affaires de 2 m€.

autom'elec est expert en solutions d'électricité et d'automatisme avec la mise en oeuvre du logiciel **TITAN**.

Spécialisée dans l'analyse, la réalisation de projets d'automatisme et d'électricité pour l'industrie minière, nos multiples compétences nous ont poussés sur la voie de l'innovation que l'on retrouve dans **TAMIssoft** mais aussi dans **TRUCKsoft** notre logiciel de gestion de chargements camions **TRUCKsoft**.

Basée autour d'un marché essentiellement français, nous développons notre activité à l'international grâce à l'arrivée de ces nouveaux produits innovants.



autom'elec
au service des carrières & TP

PRIX DE L'INNOVATION DÉFIS PM3I 2012



467 rue Antoine Primat
42000 Saint-Etienne
Tel. +33 (0)4 77 539 220
contact@autom-elec.com

autom-elec.com

vi. 09-2013 - Crédits photos : Autom'elec/Olivier Delage, istock Photo, photolito

12.1.6 Exemple de détermination de la granulométrie en continu sur P31S et P45S

autom'elec
au service de l'industrie minière

tamisoft

Rapport d'analyse plaquette de bois P31S et P45S

P31S



Figure 1 Capture d'écran Courbe de répartition Mesures TamiSoft

Partie Informatrice Résultats de production

	.00	2.80	15.80	31.70	44.50	63.60	null	null
Maximum	.00	.02	30.26	94.35	100.00	100.00		null
Xf+1.25Ecart-type	.00	.02	29.65	94.10	100.00	100.00		null
Moyenne Xf	.00	.01	24.60	89.45	99.54	100.00		null
Xf-1.25Ecart-type	.00	.01	19.56	84.81	98.23	100.00		null
Ecart-type	.00	.00	3.36	3.10	.87	.00		null

Figure 2 Tableau de mesures TamiSoft P31S

Mesures Laboratoire fournies par HGEI	P31S			
		Distribution	Répartition	Répartition [%]
	0<2,8	1	1	0,08
	2,8<15,8	321,1	322,1	26,22
	15,8<31,7	795,1	1117,2	90,95
	31,7<44,5	111,2	1228,4	100
	44,5<63,6	0	1228,4	100
	>63,6	0	1228,4	100

Analyse : TamiSoft mesure de façon répétable et avec une incertitude réduite (<5 points) le P31S

P45S



Figure 3 Capture d'écran Courbe de répartition Mesures TamiSoft

Partie Informative Résultats de production

	.00	2.80	15.80	31.70	44.50	63.60	75.00	null
Maximum	.00	.02	17.78	75.98	96.18	100.00	100.00	null
Xf+1.25Ecart-type	.00	.02	17.72	74.12	94.80	100.00	100.00	null
Moyenne Xf	.00	.02	14.36	65.97	85.53	99.33	100.00	null
Xf-1.25Ecart-type	.00	.01	11.00	57.82	76.26	96.13	100.00	null
Ecart-type	.00	.00	2.24	5.43	6.18	2.13	.00	null

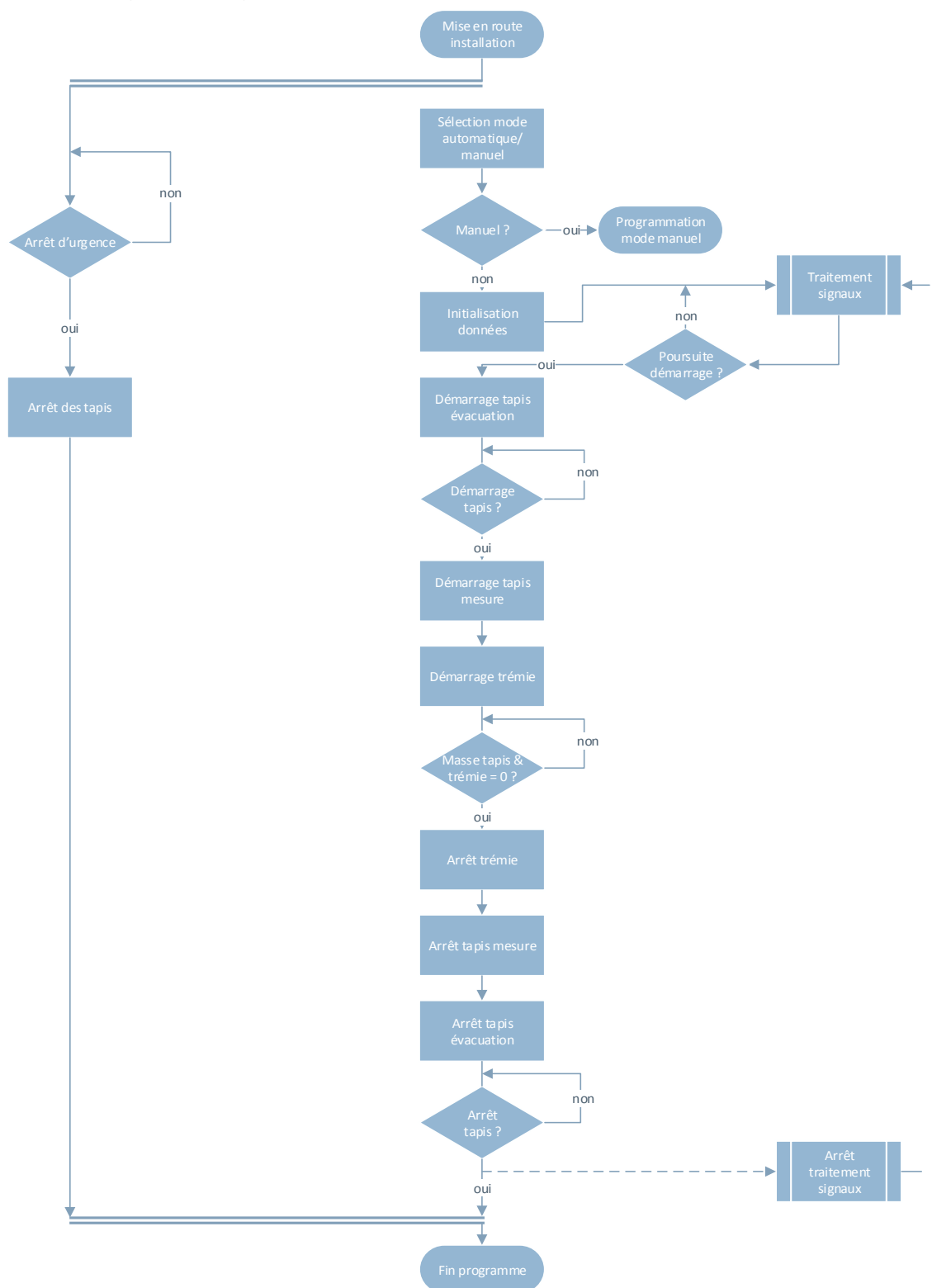
Figure 4 Tableau de mesures TamiSoft P45S

Mesures Laboratoire fournies par HGEI	P45S			
		Distribution	Répartition	Répartition [%]
	0<2,8	10,5	10,5	0,76
	2,8<15,8	175,7	186,2	13,54
	15,8<31,7	679,5	865,7	62,96
	31,7<44,5	327,6	1193,3	86,78
	44,5<63,6	149,5	1342,8	97,65
	>63,6	32,3	1375,1	100
	Total	1375,1		361,69

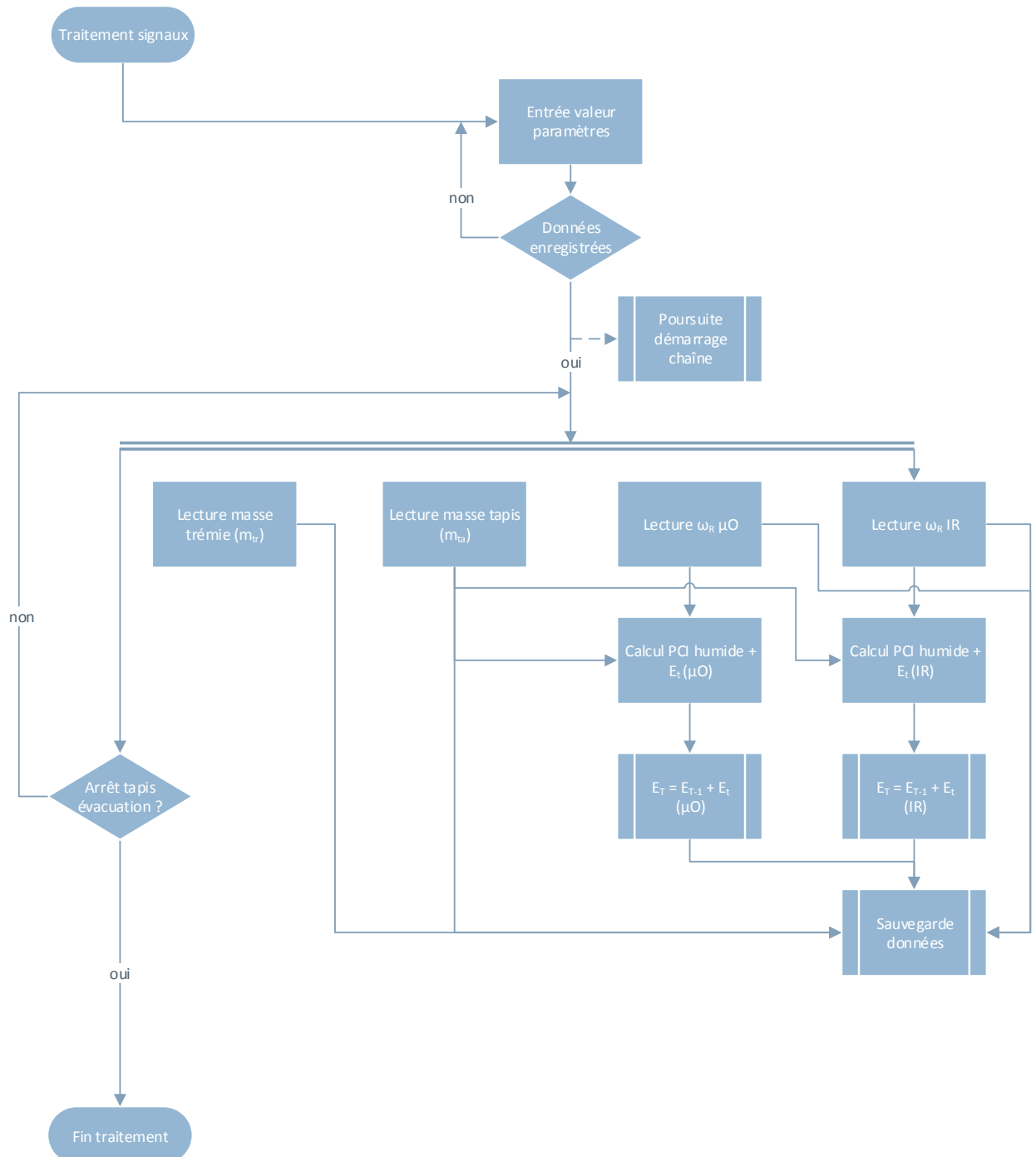
Analyse : TamiSoft mesure de façon répétable et avec une incertitude réduite (<5 points) le P45S

12.2 Organigrammes

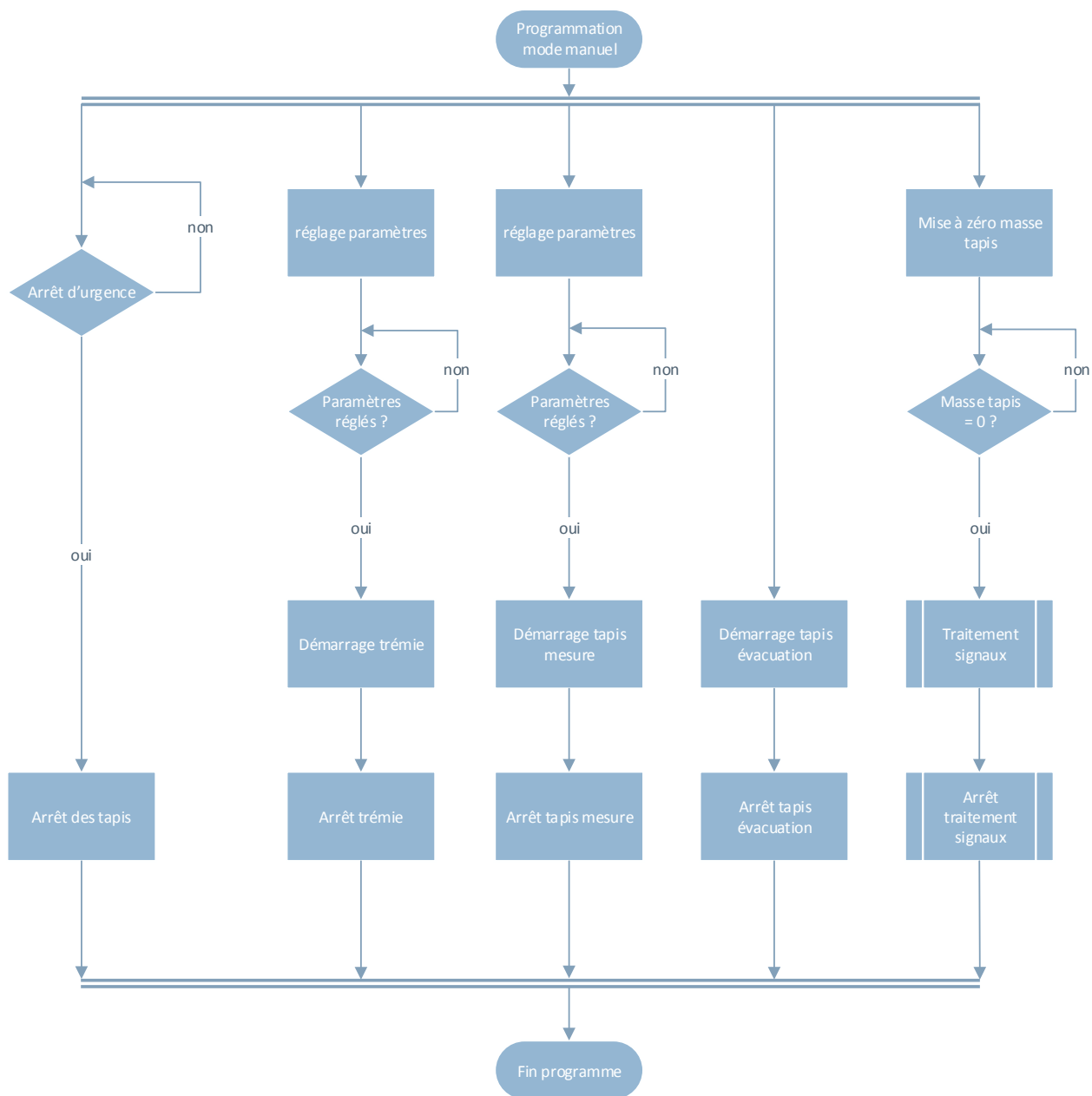
12.2.1 Pilotage de la ligne



12.2.2 Traitement des signaux



12.2.3 Mode de fonctionnement manuel





12.3 Caractéristiques de quelques lots testés

GRANULOMÉTRIE

selon ISO 17827-1 / ISO 17225-1 / ISO 17225-4

Client Xylochips
Prélèvement 20.11.2017
Date de réalisation 22.11.2017
Réalisée par IMY
Volume échantillon [l] 8.7
Humidité relative [%] 29.3

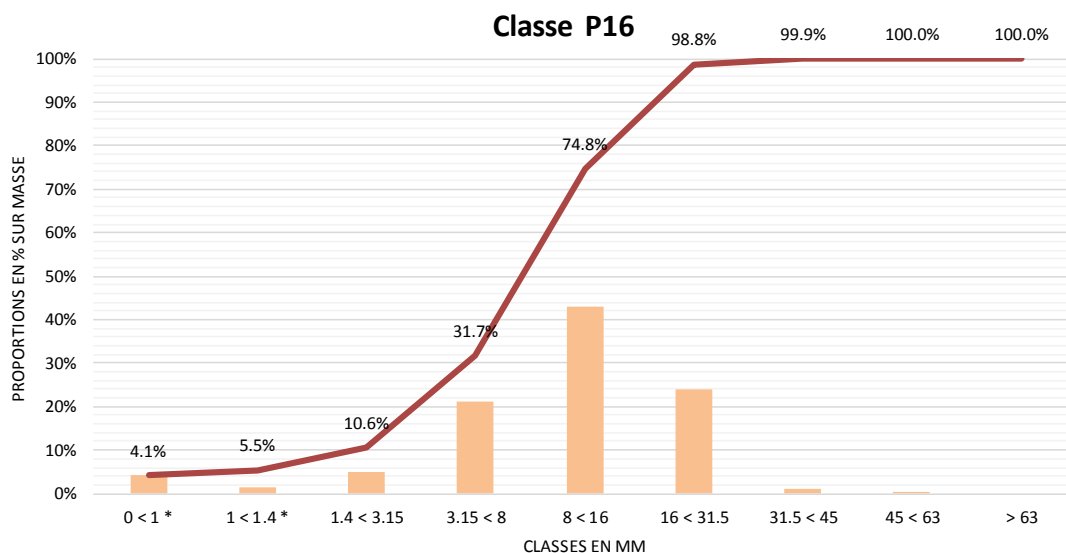
valeurs mesurées

valeurs calculées

Classes Ø	Masse [g]	% masse	% m cumulée
0 < 1 *	87.8	4.1%	4.1%
1 < 1.4 *	29.1	1.4%	5.5%
1.4 < 3.15	108.8	5.1%	10.6%
3.15 < 8	451.5	21.1%	31.7%
8 < 16	919.8	43.1%	74.8%
16 < 31.5	512.7	24.0%	98.8%
31.5 < 45	24.4	1.1%	99.9%
45 < 63	1.4	0.1%	100.0%
> 63	0.0	0.0%	100.0%
Total	2135.5	d50 = 11.4	M30

L max [mm]	Qté	Aire max [cm²]
36	4	4

* les tamis sont carrés pour ces deux classes, selon ISO 3310-1 et ronds selon 3310-2 pour toutes les autres.



Légende

*d*50 longueur médiane en mm
M classe d'humidité
BD masse volumique apparente
A teneur en cendres

P fraction principale (≥ 60% en masse)
F fraction fine < 3,15 mm en masse
S la plaquette est de qualité S si elle respecte les conditions de surlongueur/section max.

Figure 18 : frêne - P16



GRANULOMÉTRIE

selon ISO 17827-1 / ISO 17225-1 / ISO 17225-4

Client Xylochips
Prélèvement 20.11.2017
Date de réalisation 22.11.2017
Réalisée par IMY
Volume échantillon [l] 8.7
Humidité relative [%] 35.4

valeurs mesurées

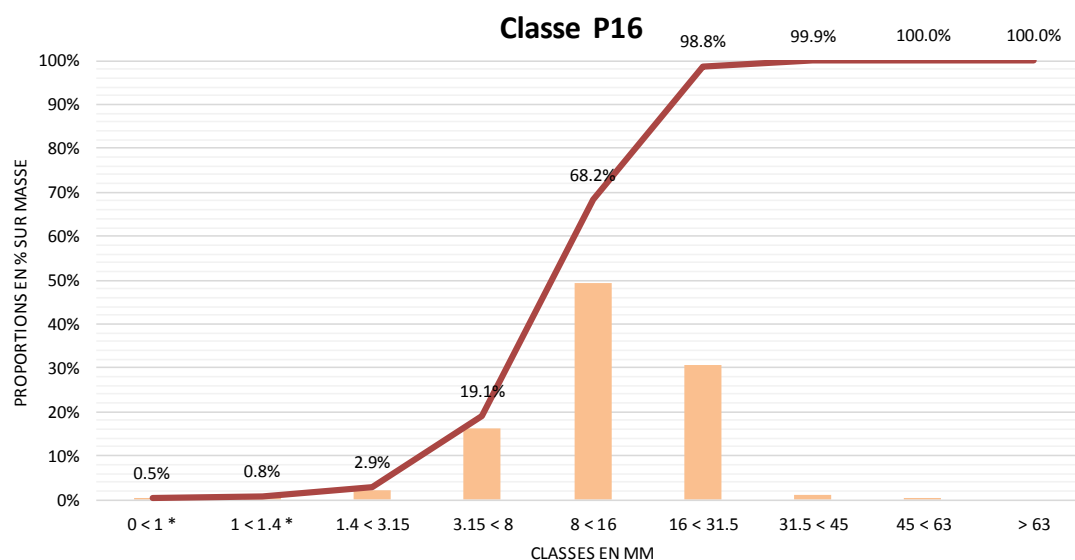
valeurs calculées

Classes \emptyset	Masse [g]	% masse	% m cumulée
0 < 1 *	5.7	0.5%	0.5%
1 < 1.4 *	3.6	0.3%	0.8%
1.4 < 3.15	24.7	2.1%	2.9%
3.15 < 8	189.9	16.2%	19.1%
8 < 16	577.9	49.2%	68.2%
16 < 31.5	358.7	30.5%	98.8%
31.5 < 45	13.1	1.1%	99.9%
45 < 63	1.4	0.1%	100.0%
> 63	0.0	0.0%	100.0%
Total	1174.9	d50 = 13	M40

L max [mm]	Qté	Aire max [cm²]
112	1	4

				BD200	A -	Classe P16	F05
--	--	--	--	-------	-----	------------	-----

* les tamis sont carrés pour ces deux classes, selon ISO 3310-1 et ronds selon 3310-2 pour toutes les autres.



Légende

d50 longueur médiane en mm
M classe d'humidité
BD masse volumique apparente
A teneur en cendres

P fraction principale ($\geq 60\%$ en masse)
F fraction fine < 3,15 mm en masse
S la plaquette est de qualité S si elle respecte les conditions de surlongueur/section max.

Figure 19 : épicéa - P16

GRANULOMÉTRIE

selon ISO 17827-1 / ISO 17225-1 / ISO 17225-4

Client Xylochips
Prélèvement 03.11.2017
Date de réalisation 06.11.2017
Réalisée par IMY
Volume échantillon [l] 4.5
Humidité relative [%] 26.0

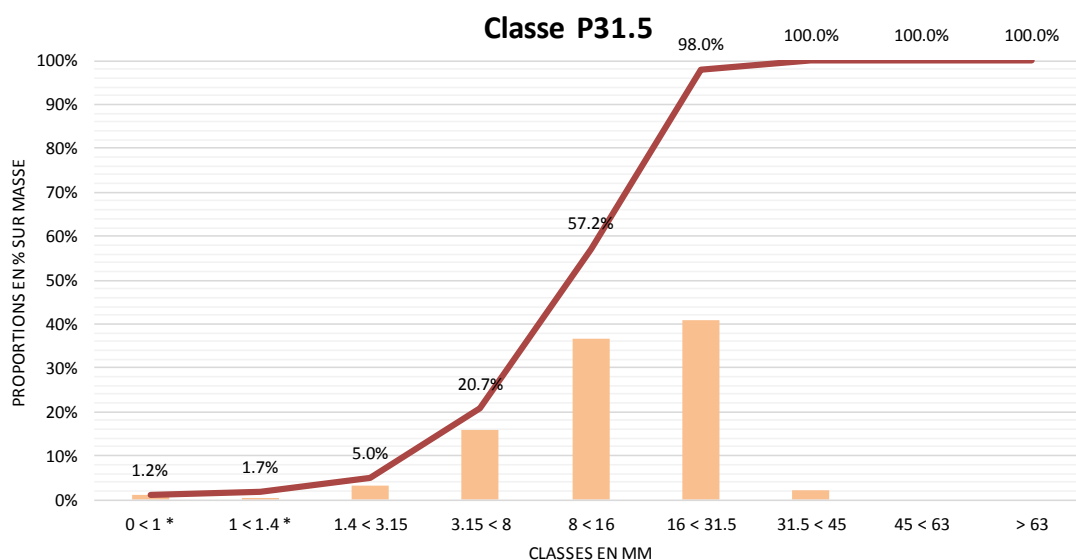
valeurs mesurées
valeurs calculées

Classes Ø	Masse [g]	% masse	% m cumulée
0 < 1 *	13.3	1.2%	1.2%
1 < 1.4 *	5.7	0.5%	1.7%
1.4 < 3.15	35.7	3.2%	5.0%
3.15 < 8	173.8	15.7%	20.7%
8 < 16	403.9	36.5%	57.2%
16 < 31.5	450.8	40.8%	98.0%
31.5 < 45	22.0	2.0%	100.0%
45 < 63	0.0	0.0%	100.0%
> 63	0.0	0.0%	100.0%
Total	1105.1	d50 = 14.4	M30

L max [mm]	Qté	Aire max [cm²]
63	2	6

				BD250	A -	Classe P31.5	F05
--	--	--	--	-------	-----	--------------	-----

* les tamis sont carrés pour ces deux classes, selon ISO 3310-1 et ronds selon 3310-2 pour toutes les autres.



Légende

d50 longueur médiane en mm
M classe d'humidité
BD masse volumique apparente
A teneur en cendres

P fraction principale (≥ 60% en masse)
F fraction fine < 3,15 mm en masse
S la plaquette est de qualité S si elle respecte les conditions de surlongueur/section max.

Figure 20 : hêtre - P31



GRANULOMÉTRIE

selon ISO 17827-1 / ISO 17225-1 / ISO 17225-4

Client xylochips
Prélèvement 20.11.2017
Date de réalisation 22.11.2017
Réalisée par IMY
Volume échantillon [l] 8.7
Humidité relative [%] 44.3

valeurs mesurées

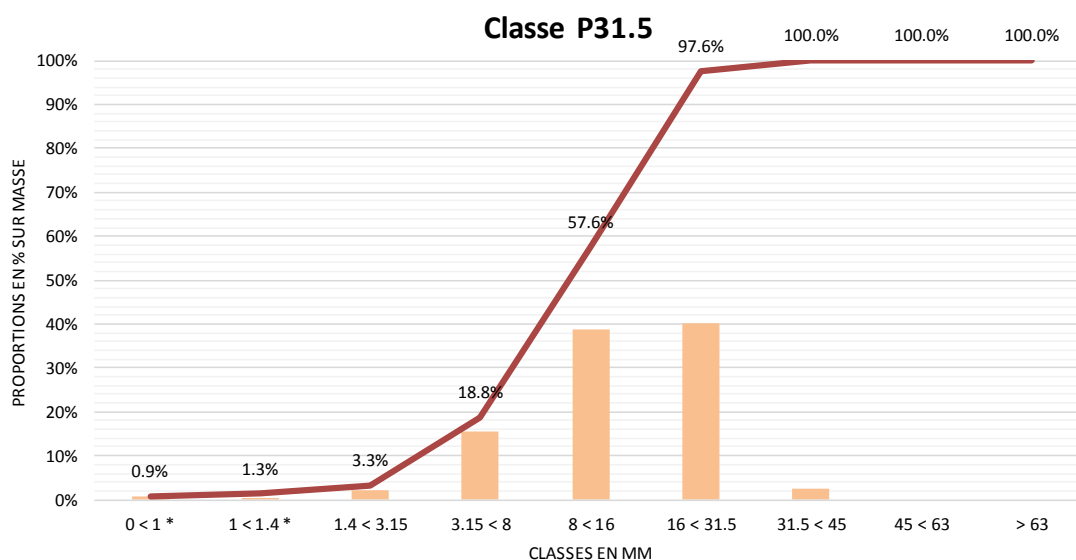
valeurs calculées

Classes Ø	Masse [g]	% masse	% m cumulée
0 < 1 *	10.5	0.9%	0.9%
1 < 1.4 *	5.0	0.4%	1.3%
1.4 < 3.15	25.3	2.1%	3.3%
3.15 < 8	189.9	15.4%	18.8%
8 < 16	477.8	38.8%	57.6%
16 < 31.5	492.5	40.0%	97.6%
31.5 < 45	29.0	2.4%	100.0%
45 < 63	0.0	0.0%	100.0%
> 63	0.0	0.0%	100.0%
Total	1230.0	d50 = 14.4	M45

L max [mm]	Qté	Aire max [cm²]
36	5	5

	BD250	A -	Classe P31.5	F05
--	-------	-----	--------------	-----

* les tamis sont carrés pour ces deux classes, selon ISO 3310-1 et ronds selon 3310-2 pour toutes les autres.



Légende

d50 longueur médiane en mm
M classe d'humidité
BD masse volumique apparente
A teneur en cendres

P fraction principale (≥ 60% en masse)
F fraction fine < 3,15 mm en masse
S la plaquette est de qualité S si elle respecte les conditions de surlongueur/section max.

Figure 21 : peuplier - P31

GRANULOMÉTRIE

selon ISO 17827-1 / ISO 17225-1 / ISO 17225-4

Client Xylochips
Prélèvement 01.12.2017
Date de réalisation 04.12.2017
Réalisée par IMY
Volume échantillon [l] 8.7
Humidité relative [%] 23.6

valeurs mesurées

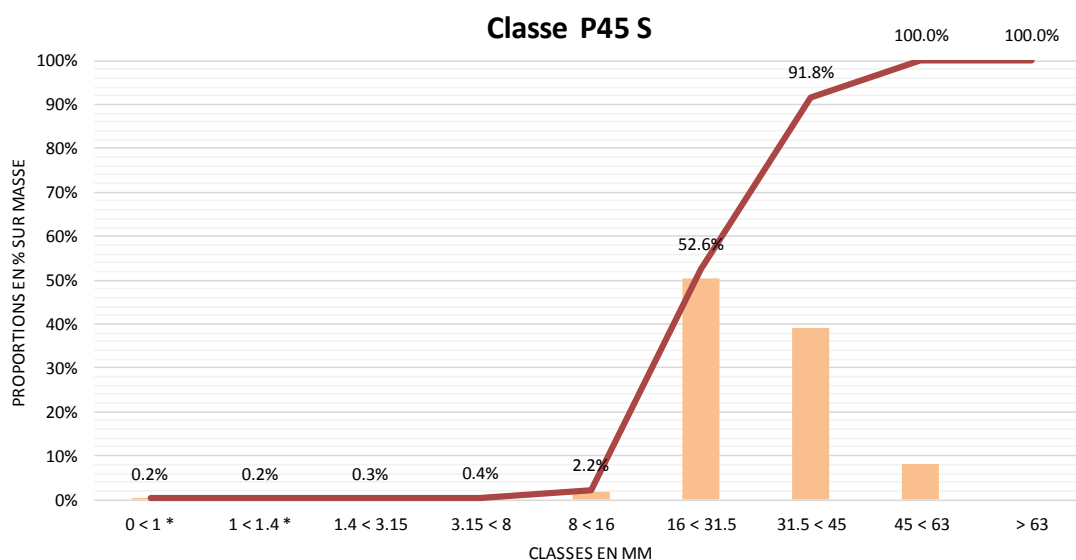
valeurs calculées

Classes ϕ	Masse [g]	% masse	% m cumulée
0 < 1 *	3.2	0.2%	0.2%
1 < 1.4 *	0.3	0.0%	0.2%
1.4 < 3.15	0.6	0.0%	0.3%
3.15 < 8	1.6	0.1%	0.4%
8 < 16	29.9	1.9%	2.2%
16 < 31.5	806.5	50.3%	52.6%
31.5 < 45	627.9	39.2%	91.8%
45 < 63	131.8	8.2%	100.0%
> 63	0.0	0.0%	100.0%
Total	1601.9	d50 = 30.7	M25

L max [mm]	Qté	Aire max [cm²]
101	6	7

BD300	A -	Classe P45 S	F05
-------	-----	--------------	-----

* les tamis sont carrés pour ces deux classes, selon ISO 3310-1 et ronds selon 3310-2 pour toutes les autres.



Légende

d50 longueur médiane en mm
M classe d'humidité
BD masse volumique apparente
A teneur en cendres

P fraction principale ($\geq 60\%$ en masse)
F fraction fine < 3,15 mm en masse
S la plaquette est de qualité S si elle respecte les conditions de surlongueur/section max.

Figure 22 : hêtre - P45 S



GRANULOMÉTRIE

selon ISO 17827-1 / ISO 17225-1 / ISO 17225-4

Client Xylochips Mélange Peuplier
Prélèvement 13.12.2017
Date de réalisation 18.12.2017
Réalisée par IMY
Volume échantillon [l] 8.7
Humidité relative [%] 46.7

valeurs mesurées

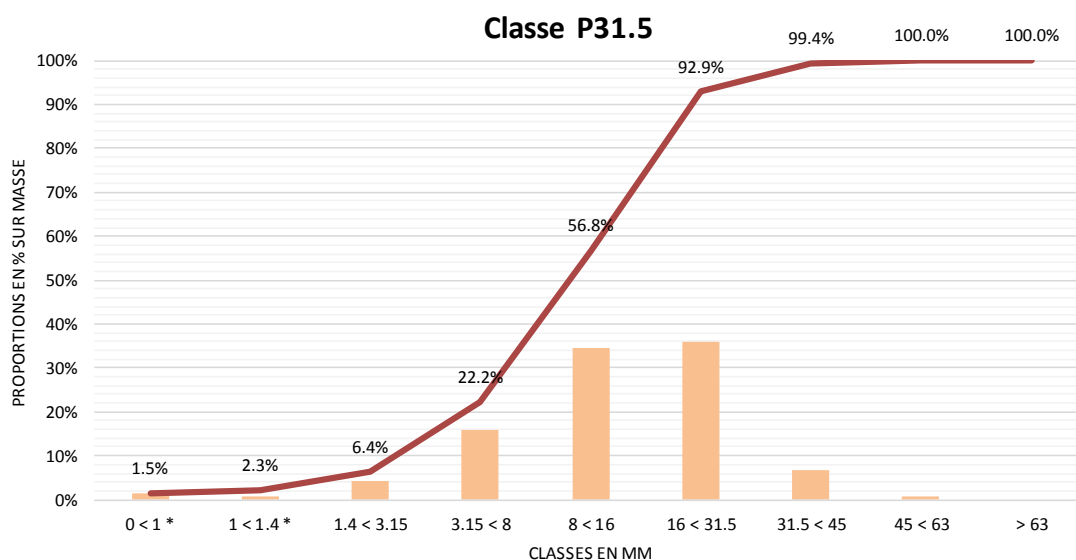
valeurs calculées

Classes Ø	Masse [g]	% masse	% m cumulée
0 < 1 *	14.2	1.5%	1.5%
1 < 1.4 *	8.2	0.8%	2.3%
1.4 < 3.15	40.1	4.1%	6.4%
3.15 < 8	154.7	15.8%	22.2%
8 < 16	337.9	34.6%	56.8%
16 < 31.5	352.3	36.1%	92.9%
31.5 < 45	64.3	6.6%	99.4%
45 < 63	5.5	0.6%	100.0%
> 63	0.0	0.0%	100.0%
Total	977.1	d50 = 14.4	M50

L max [mm]	Qté	Aire max [cm²]
45	1	4

BD -	A -	Classe P31.5	F10
------	-----	--------------	-----

* les tamis sont carrés pour ces deux classes, selon ISO 3310-1 et ronds selon 3310-2 pour toutes les autres.



Légende

d50 longueur médiane en mm
M classe d'humidité
BD masse volumique apparente
A teneur en cendres

P fraction principale (≥ 60% en masse)
F fraction fine < 3,15 mm en masse
S la plaquette est de qualité S si elle respecte les conditions de surlongueur/section max.

Figure 23 : peuplier P31/47%

GRANULOMÉTRIE

selon ISO 17827-1 / ISO 17225-1 / ISO 17225-4

Client Xylochips
Prélèvement 13.12.2017
Date de réalisation
Réalisée par IMY
Volume échantillon [l] 8.7
Humidité relative [%] 27.6

valeurs mesurées

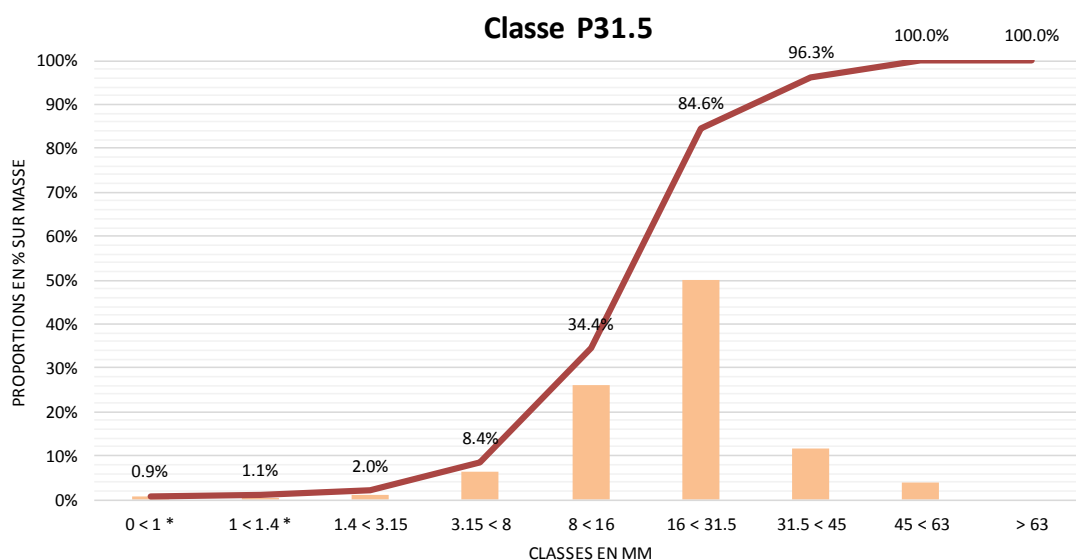
valeurs calculées

Classes Ø	Masse [g]	% masse	% m cumulée
0 < 1 *	16.1	0.9%	0.9%
1 < 1.4 *	4.1	0.2%	1.1%
1.4 < 3.15	16.6	0.9%	2.0%
3.15 < 8	118.4	6.4%	8.4%
8 < 16	481.3	26.0%	34.4%
16 < 31.5	929.3	50.2%	84.6%
31.5 < 45	216.3	11.7%	96.3%
45 < 63	69.2	3.7%	100.0%
> 63	0.0	0.0%	100.0%
Total	1851.2	d50 = 20.8	M30

L max [mm]	Qté	Aire max [cm²]
56	3	12

BD -	A -	Classe P31.5	F05
------	-----	--------------	-----

* les tamis sont carrés pour ces deux classes, selon ISO 3310-1 et ronds selon 3310-2 pour toutes les autres.



Légende

d50 longueur médiane en mm
M classe d'humidité
BD masse volumique apparente
A teneur en cendres

P fraction principale (≥ 60% en masse)
F fraction fine < 3,15 mm en masse
S la plaquette est de qualité S si elle respecte les conditions de surlongueur/section max.

Figure 24 : hêtre P31/28%



GRANULOMÉTRIE

selon ISO 17827-1 / ISO 17225-1 / ISO 17225-4

Client Xylochips Mélange Hêtre 10/30
Prélèvement 13.12.2017
Date de réalisation 18.12.2017
Réalisée par IMY
Volume échantillon [l] 8.7
Humidité relative [%] 23.7

valeurs mesurées

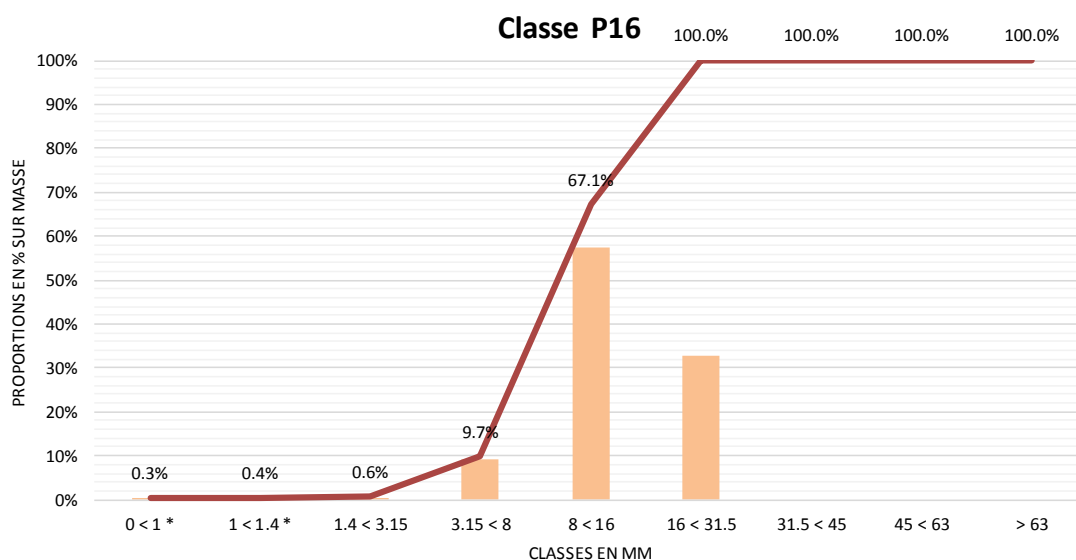
valeurs calculées

Classes Ø	Masse [g]	% masse	% m cumulée
0 < 1 *	4.8	0.3%	0.3%
1 < 1.4 *	0.6	0.0%	0.4%
1.4 < 3.15	3.3	0.2%	0.6%
3.15 < 8	127.6	9.1%	9.7%
8 < 16	802.6	57.4%	67.1%
16 < 31.5	459.7	32.9%	100.0%
31.5 < 45	0.0	0.0%	100.0%
45 < 63	0.0	0.0%	100.0%
> 63	0.0	0.0%	100.0%
Total	1398.7	d50 = 13.6	M25

L max [mm]	Qté	Aire max [cm²]
86	10	1

BD -	A -	Classe P16	F05
------	-----	------------	-----

* les tamis sont carrés pour ces deux classes, selon ISO 3310-1 et ronds selon 3310-2 pour toutes les autres.



Légende

d50 longueur médiane en mm
M classe d'humidité
BD masse volumique apparente
A teneur en cendres

P fraction principale (≥ 60% en masse)
F fraction fine < 3,15 mm en masse
S la plaquette est de qualité S si elle respecte les conditions de surlongueur/section max.

Figure 25 : hêtre 10-30 P16/24%