

L'échantillonnage optimisé de biomasse réceptionnée en chaufferie à l'aide du protocole OPTISCREEN

Le suivi qualitatif de la biomasse réceptionnée en chaufferie (taux d'humidité, granulométrie et taux de cendres) permet d'ajuster la facturation des produits, d'adapter la combustion dans la chaudière et de limiter les dysfonctionnements sur la chaîne d'approvisionnement. La norme utilisée pour définir les paramètres d'échantillonnage de biomasse (nombre, taille et localisation des prélèvements) s'avère très difficilement applicable en pratique, ce qui limite l'efficacité des suivis menés actuellement. De plus, il est difficile d'obtenir un échantillon représentatif dans le cas d'un assortiment de produits plus ou moins brassés dans le camion, pratique de plus en plus fréquente aujourd'hui.

L'objectif du protocole OPTISCREEN (financé par l'ADEME ; avec comme partenaires DALKIA SA, CYLERGIE - ENGIE LAB, FCBA) est de proposer un guide opérationnel permettant d'ajuster les paramètres d'échantillonnage aux besoins des chaufferies et d'adopter des modes de prélèvements faciles à mettre en œuvre. Les préconisations de ce protocole sont basées sur une étude approfondie des pratiques d'échantillonnage (complétée par une analyse ergonomique), sur des calculs théoriques relatifs aux composants des produits biomasse (théorie de l'échantillonnage des solides), ainsi que sur l'analyse statistique de campagnes de prélèvements dans des camions spécifiquement constitués (770 prélèvements, 980 mesures d'humidité, 390 mesures de granulométrie et 390 mesures de taux de cendres).

Problématiques de l'échantillonnage de biomasse et objectifs du protocole OPTISCREEN

▪ Principe de l'échantillonnage de biomasse

Le suivi qualitatif de la biomasse réceptionnée en chaufferie (taux d'humidité, granulométrie et taux de cendres) permet d'ajuster la facturation des produits, d'adapter la combustion dans la chaudière et de limiter les dysfonctionnements sur la chaîne d'approvisionnement.

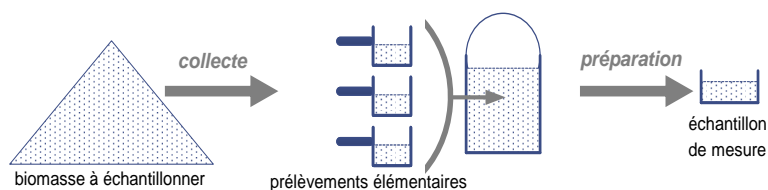


Figure 1 : Principe de l'échantillonnage de biomasse

L'échantillonnage (figure 1) consiste à réaliser plusieurs prélèvements élémentaires dans la biomasse réceptionnée (au niveau du camion, de la fosse ou du silo de réception), à mélanger ces prélèvements puis à préparer un échantillon représentatif sur lequel seront effectuées les mesures (taux d'humidité, granulométrie, taux de cendres).

▪ Difficulté d'appliquer la norme d'échantillonnage de biomasse

La norme CEN TC 335 - EN 14 778 est la référence pour définir les paramètres d'échantillonnage de biomasse (nombre, taille, localisation des prélèvements). Elle s'avère cependant très difficilement applicable en pratique car elle nécessite un pré-échantillonnage pour évaluer l'hétérogénéité du chargement et elle préconise de réaliser 10 prélèvements au minimum, ce qui implique un volume prélevé très élevé qu'il faut ensuite quarter (répartir en 4 parties égales) lors de la préparation de l'échantillon de mesure.

Les produits biomasse sont livrés par camion sous forme de chargements purs (produit unique) ou, de plus en plus pratiqué, en assortiment de produits plus ou moins brassés dans le camion. Plus un chargement est hétérogène, plus il sera difficile d'obtenir un échantillon représentatif (augmentation du nombre de prélèvements pour couvrir la totalité des parties du chargement).

Les pratiques actuelles d'échantillonnage sont très variables entre chaufferies (figure 2), à la fois en termes de nombre de prélèvements (de 1 à 8) et de localisation (localisés ou bien répartis). Les modes opératoires diffèrent généralement en fonction de l'accessibilité de la biomasse, c'est-à-dire en fonction des installations de réception (fosse ou silo de plain-pied) et du moment choisi pour réaliser les prélèvements (avant/après déchargement ou pendant le déchargement).


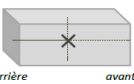
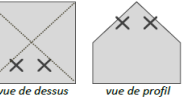
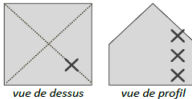
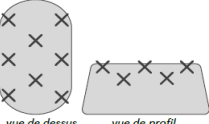
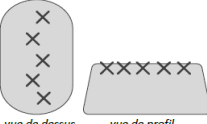
	STATIQUE (tas de matière)	DYNAMIQUE (flux de matière)
Dans le camion	1 prélèvement localisation :  arrière avant	1 prélèvement localisation :  arrière avant
En fosse	1 à 3 prélèvements localisation :  vue de dessus vue de profil	2 à 3 prélèvements localisation :  vue de dessus vue de profil
En silo de plain-pied	3 à 8 prélèvements localisation :  vue de dessus vue de profil	5 prélèvements localisation :  vue de dessus vue de profil

Figure 2 : synthèse des pratiques d'échantillonnage

▪ **Le protocole OPTISCREEN : un guide pratique en 8 fiches opérationnelles**

Le protocole OPTISCREEN est un guide pratique en 8 fiches opérationnelles (figure 3). Il constitue une aide à la décision à la fois pour le chef de site et pour les opérateurs en charge de la réception des produits.

Ce protocole permet d'ajuster les paramètres d'échantillonnage (nombre, taille, localisation des prélèvements) aux équipements de la chaufferie et à la précision souhaitée sur les mesures (humidité, granulométrie, taux de cendres). Il fournit également des préconisations pour adopter des modes de prélèvements adaptés et faciles à mettre en œuvre.

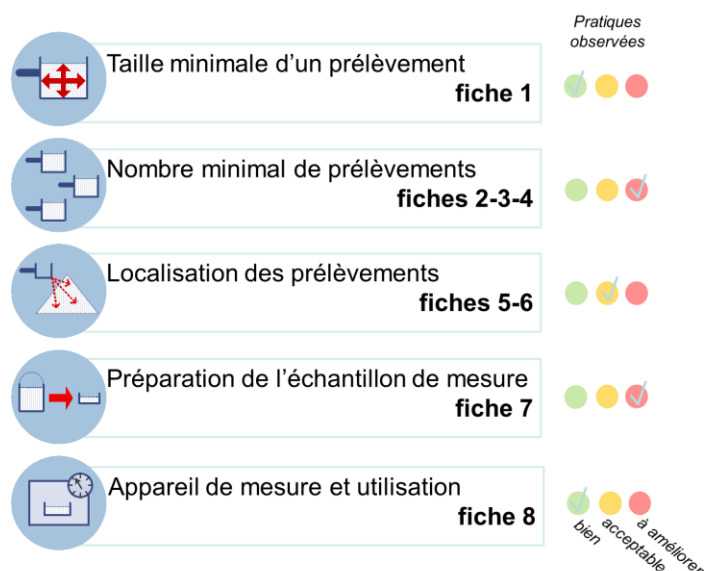


Figure 3 : Présentation des 8 fiches synthétiques du protocole OPTISCREEN

Définir des paramètres d'échantillonnage adaptés et calculer l'incertitude associée à chaque mesure (X% ± ..%)

▪ **Préalable : classement visuel de l'hétérogénéité du camion**

Pour utiliser le protocole OPTISCREEN, il est nécessaire de définir au préalable le degré d'hétérogénéité du chargement parmi 4 classes (figure 4) : très homogène / homogène / hétérogène / très hétérogène.

Ce classement est basé sur la nature des produits et sur l'intensité du brassage des produits dans le cas d'assortiments.

	Produit très HOMOGÈNE	Produit HOMOGÈNE	Produit HÉTÉROGÈNE	Produit très HÉTÉROGÈNE
Chargement PUR 				
en MÉLANGE 		mélange brassé avec soin 	mélange peu brassé 	mélange en couches distinctes 

Figure 4 : Classement visuel des produits selon le protocole OPTISCREEN

▪ **Objectif n°1 : définir des paramètres d'échantillonnage adaptés à ses besoins**

Humidité moyenne attendue : 25 %				
Nb de prélèvements	camion très homogène	camion homogène	camion hétérogène	camion très hétérogène
Précision absolue				
± 1 point	3	9	31	67
± 2 points	1	3	8	17
± 3 points	-	1	4	8
± 4 points	-	-	2	5
± 5 points	-	-	2	3

Humidité moyenne attendue : 30 %				
Nb de prélèvements	camion très homogène	camion homogène	camion hétérogène	camion très hétérogène
Précision absolue				
± 1 point	4	12	45	97
± 2 points	1	3	12	25
± 3 points	-	2	5	11
± 4 points	-	1	3	7
± 5 points	-	-	2	4

Humidité moyenne attendue : 35 %				
Nb de prélèvements	camion très homogène	camion homogène	camion hétérogène	camion très hétérogène
Précision absolue				
± 1 point	6	16	61	132
± 2 points	2	4	16	33
± 3 points	1	2	7	15
± 4 points	-	1	4	9
± 5 points	-	-	3	6

non-utile en application
 précision relative < 10 %
 précision relative < 20 %
 précision relative > 20 %

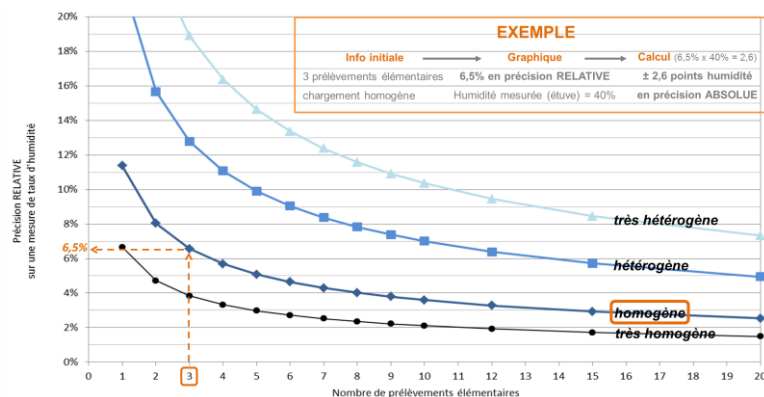
Tableau 1 : Définition du nombre de prélèvements à effectuer pour une précision donnée sur l'humidité

Le protocole OPTISCREEN permet au responsable de site ou au responsable d'approvisionnement de fixer les paramètres d'échantillonnage (nombre et taille des prélèvements) en fonction des caractéristiques de son approvisionnement et de la précision souhaitée sur les mesures (humidité, granulométrie et taux de cendres).

Le tableau 1 permet de définir le nombre de prélèvements à effectuer pour obtenir une précision donnée sur la mesure du taux d'humidité. Par exemple, un chef de site souhaite une précision de ± 2 points d'humidité pour des chargements homogènes d'humidité attendue de 35%, le tableau 1 indique qu'il faut réaliser un minimum de 4 prélèvements élémentaires pour atteindre cette précision.

▪ **Objectif n°2 : calculer l'incertitude associée à chaque mesure (X% ± ..%)**

Le protocole OPTISCREEN offre la possibilité à l'opérateur de calculer, après échantillonnage, l'incertitude associée à chaque mesure d'humidité, de granulométrie et de taux de cendres.



Graphique 1 : Précision de la mesure d'humidité selon l'hétérogénéité du chargement et le nombre de prélèvements effectués

Le graphique 1 permet de calculer la précision de la mesure d'humidité sur échantillon, en fonction de la classe d'hétérogénéité du chargement et du nombre de prélèvements effectués. Par exemple, l'opérateur a réalisé 3 prélèvements élémentaires sur un chargement de type « homogène ». Par lecture graphique, la précision relative de la mesure d'humidité sur échantillon est de 6,5%. Si le taux d'humidité mesuré sur échantillon est de 40%, l'incertitude de mesure sera donc de ± 2,6 points d'humidité (6,5 x 40%).

▪ **Objectif n°3 : adopter des modes de prélèvements adaptés**

A partir d'observations sur le terrain et des références normatives (NF EN 14774 – 14778 – 14780), le protocole OPTISCREEN présente des préconisations concernant les bonnes pratiques pour réaliser des prélèvements élémentaires de biomasse (méthode, outils, localisation) ainsi qu'un rappel des règles de sécurité. Les modes opératoires à adopter pour les deux types d'installations (fosse de réception et silo de plain-pied) sont décrits.



Figure 5 : description d'un mode opératoire : prélèvements de biomasse sur un tas de matière dans un silo de plain-pied

Ces fiches opérationnelles rappellent également l'importance de l'étape de préparation de l'échantillon de mesure (méthode du quartage) et la conduite à tenir pour réaliser une mesure d'humidité à l'étuve.

Base scientifique des résultats

Etat des lieux des pratiques d'échantillonnage

Un état des lieux des pratiques actuelles d'échantillonnage de la biomasse a été mené au cours de visites de 10 chaufferies en France et de 8 sites à l'étranger. Une synthèse bibliographique a permis de compléter cet état des lieux des pratiques.



Photos 1 : quelques pratiques d'échantillonnage observées (de gauche à droite : sur tas en fosse ; sur tas en silo ; à l'arrière du camion ; dans le flux en fosse)

Etude ergonomique

Une analyse ergonomique du poste de chargé de l'échantillonnage a été réalisée par un ergonome. Ce travail a permis d'étudier l'activité, les contraintes et les préoccupations de 15 opérateurs. Les recommandations issues de cette analyse sont intégrées dans le protocole OPTISCREEN ainsi adapté au quotidien des opérateurs.

Une analyse complémentaire a été réalisée en fin de projet auprès de 8 opérateurs pour s'assurer de l'adéquation du protocole OPTISCREEN avec les besoins préalablement exprimés.

Calcul théorique de la taille minimale d'un prélèvement

En étudiant finement les particules composant chaque produit biomasse pur (nombre et humidité des particules de chaque classe granulométrique), il a été possible d'appliquer la théorie de l'échantillonnage des solides (développée par P. Gy). Ce travail a permis de déterminer la taille minimale d'un prélèvement élémentaire pour 10 produits biomasse (purs), en fonction de la précision souhaitée (degré de représentativité du prélèvement élémentaire). Ces calculs ont ensuite été étendus aux assortiments de produits, en connaissant les proportions de chaque produit présent dans l'assortiment considéré.

Expérimentations sur le terrain

Une campagne de prélèvements a été menée sur 16 camions spécifiquement constitués (assortiments de 2 à 3 produits en mélange homogène ou en couches) et sur 16 camions standards réceptionnés en chaufferie. Ces actions ont été réalisées sur 2 périodes, en hiver et en été, pour tenir compte de l'effet de saisonnalité.



Photo 2 : Echantillonnage de 30 prélèvements dans un camion très hétérogène (3 produits en couches)

Dans chaque camion, 20 à 30 prélèvements ont été effectués (photo 2). Chaque prélèvement a ensuite été préparé pour former un échantillon de mesure, et en mesurer l'humidité, la granulométrie, et le taux de cendres.

Traitement statistique des données

L'ensemble des données collectées (figure 6) au cours de l'expérimentation a fait l'objet de multiples traitements statistiques.

32 camions échantillonnés
770 prélèvements élémentaires
1 370 préparations d'échantillons
980 mesures d'humidité
390 mesures de granulométrie
390 mesures de taux de cendre

Figure 6 : chiffres de la campagne de prélèvements

L'analyse statistique s'est particulièrement intéressée à l'étude de la variabilité entre chaque prélèvement d'un même chargement, en fonction de la nature des produits et de l'intensité du brassage des produits dans le cas d'assortiments (figure 7).

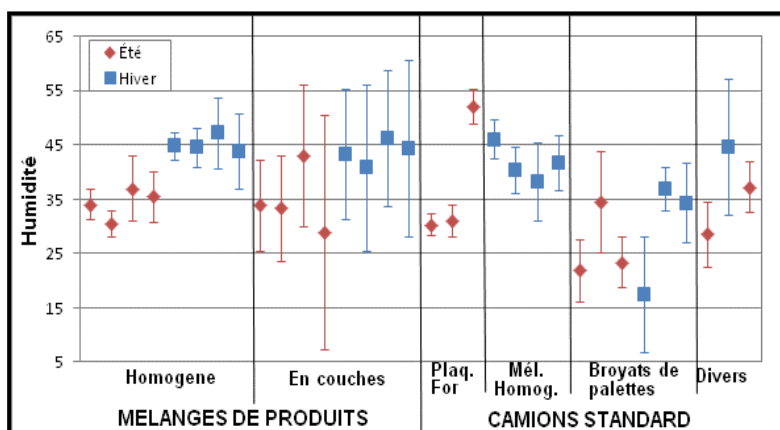


Figure 7 : Humidité moyenne des prélèvements et écart-type pour les 32 camions échantillonnés

Ces résultats ont permis de déterminer la précision relative associée aux mesures sur échantillon (humidité, granulométrie et taux de cendres) en fonction du nombre de prélèvements effectués et du degré d'hétérogénéité du chargement.

Conclusion

Le protocole OPTISCREEN, établi dans une démarche scientifique rigoureuse, est un guide décisif pour assurer le suivi qualitatif de la biomasse réceptionnée en chaufferie. Il permet de définir les paramètres d'échantillonnage les mieux adaptés aux sites de réception et à leurs approvisionnements (nombre, taille, localisation des prélèvements).

Ce protocole opérationnel a été conçu pour répondre aux besoins rencontrés au quotidien par les opérateurs en charge de l'échantillonnage de biomasse. Il offre la possibilité de calculer, après échantillonnage, l'incertitude associée à chaque mesure d'humidité, de granulométrie et de taux de cendres.

Pour en savoir plus...

> site internet FCBA : description du projet et téléchargement du protocole et des livrables
<http://www.fcba.fr/catalogue/1ere-transformation-approvisionnement/actions-collectives/opti-screen-echantillonnage-livraisons-biocombustibles>

> site internet ADEME : téléchargement du protocole et des livrables
<http://www.ademe.fr/projet-opti-screen-optimisation-lechantillonnage-a-livraison>

Contacts :

Louis MAIRE
 Ingénieur Etudes et Recherche
 Tél. 05 56 43 64 71
louis.maire@fcba.fr

Emmanuel CACOT

FCBA – Pôle 1^{ère} Transformation Approvisionnement
 Section CIAT APPRO PTA
 Allée de Boutaut – BP 227
 33028 Bordeaux Cedex



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

Etude réalisée avec le soutien de

