

HUMIDITE DES COMBUSTIBLES

Constats sur l'évolution – Recommandations

1. Constats sur l'évolution de l'humidité

Depuis le démarrage du suivi CEEB il est constaté une baisse de l'humidité des plaquettes forestières C3. Ce constat est partagé par les professionnels de la filière bois-énergie.

Plusieurs facteurs généralisés peuvent expliquer cette baisse :

- Prise en compte de la généralisation du **prix au MWh** (Avant livraison à la tonne et maintenant achat au MWh généralisé), mais aussi
- Structurellement, le **réchauffement climatique et les sécheresses associées** qui surviennent de manière répétées (notamment 2018, 2019 et 2020), affaiblissent la forêt qui devient alors moins résistante aux attaques de parasites tels que le scolyte puis le champignon par exemple (sources : <https://agriculture.gouv.fr/la-secheresse-impacte-aussi-les-forets>, https://www.onf.fr/onf/+/_2e0::epidemie-de-scolytes-les-forestiers-de-lonf-sur-le-front.html, <https://www.inrae.fr/actualites/secheresses-recurrentes-fragilisent-forets...>) génèrent du bois sec.
- Problème de **bois trop secs en cours de généralisation sur la période estivale** (certaines essences de bois ont un taux d'humidité plus faible que par le passé).

La tendance est marquée à une **diminution de l'humidité des plaquettes forestières C3 de granulométrie grossière**. Elle s'observe en particulier sur les plaquettes forestières, issues de coupe d'été, livrées en octobre-novembre qui ne reprennent pas l'humidité et qui sont de plus en plus sèches (pouvant même atteindre 30% d'humidité sur des projets BCIAT). Rappelons que, sauf exception, le **bois énergie est un sous-produit de l'exploitation forestière** avant tout tournée vers la production de bois d'œuvre et d'industrie. La marge de manœuvre pour corrélérer récolte et envoi en chaufferie n'est donc pas totale pour l'exploitant.

Cette **évolution de l'humidité du combustible** est à gérer pour les chaufferies de moyenne et forte puissance :

- Les chaudières de puissance $P < 300\text{kW}$ (foyer à grilles, foyer volcan) préfèrent un combustible sec avec une humidité inférieure à 30%. L'humidité idéale du combustible est M30 avec des H% comprises idéalement entre 15 et 25% → plaquette ressuyée pas trop de problème d'humidité
- Pour les chaudières de puissance entre $1\text{ MW} < P < 10\text{ MW}$ il est préférable d'avoir un combustible entre 30 et 50% d'humidité. La variabilité de la plage d'humidité est tolérée. Ce qui pose vraiment **problème pour la conduite** ce sont les **grosses variations d'humidité entre deux livraisons** (avoir des camions à 30-35% d'humidité un jour et à 50-55% d'humidité le lendemain). Ces variations doivent être idéalement les plus faibles possible.
- Pour les chaufferies de plus fortes puissances → il y a aussi des **problèmes de variation d'humidité** sur des grosses installations de type CRE où l'humidité du combustible livré peut être trop basse, notamment avec le bois SSD sur certaines périodes de l'année.

Nous proposons ci-dessous quelques recommandations pour éviter qu'un camion soit refusé par l'exploitant d'une chaufferie bois à cause d'une humidité trop faible (en dessous de 30% d'humidité).

2. Recommandations/bonnes pratiques pour travailler avec une plaquette moins humide

Pour les futures chaufferies bois il est possible de concevoir le foyer des installations pour pouvoir utiliser ces plaquettes plus sèches. Il faut cependant anticiper cette baisse de l'humidité et prévoir avec les chaudiéristes des cahiers des charges adaptés et réalistes sur les humidités min/max acceptées par le foyer de la chaudière.

Privilégier une technologie de chaudière adaptée (par exemple à grille refroidie) à l'humidité du combustible

Souvent pour les chaudières de puissance entre 1,5 et 10 MW l'humidité demandée dans le cahier des charges est large : $15_25\% < H\% < 40_55\%$, afin de laisser la possibilité au client de s'approvisionner avec différents combustibles. Il est recommandé de :

- **Tenir compte de l'évolution de l'humidité** à la baisse des plaquettes forestières pour les futures chaufferies bois, côté exploitants et clients (ou leurs représentants) surtout. Le chaudiériste va concevoir un foyer en fonction de la plage d'humidité demandée dans le cahier des charges, mais il doit aussi pouvoir alerter si la plage d'humidité est trop étendue ou elle ne lui paraît pas cohérente.
- **Avoir un cahier des charges strict sur la plage d'humidité pour anticiper**, tout en gardant malgré tout au moins un écart minimum de 20 points d'humidité (engagement commercial) pour garder une certaine souplesse. De plus faibles écarts peuvent être envisagés pour des combustibles spécifiques et secs (paille, miscanthus...). Si une chaudière ne peut pas accepter un combustible en-dessous d'une certaine humidité, il est alors nécessaire d'être vigilant et de vérifier la cohérence entre la plage d'humidité de la chaudière et les combustibles envisagés.
- **Informé de cette évolution de l'humidité**, notamment en prévision des cahiers des charges de projets collectifs, **pour cibler la réalité** avec des combustibles bois dont la limite basse de l'humidité est à 25_30%. Il ne faut pas aller chercher au-delà du M50 (sauf pour les connexes de scierie par exemple).
- **Adapter la conception de la chaudière** si l'humidité doit dépasser les classes -> alors besoin de dimensionnements adaptés et d'ajout de dispositif pour anticiper (convoyage ; refroidissement grille ; recyclage des fumées ; moins de réfractaire ; etc.).

N.B : Il faut trouver un équilibre entre une chaudière à un prix conséquent car on veut qu'elle brûle tout combustible à prix faible ayant une large plage d'humidité et une chaudière à prix plus faible qui brûlera un combustible plus cher ayant une faible fluctuation de l'humidité.

Pour les chaufferies bois en fonctionnement et également pour les futures quelles sont les bonnes pratiques à adopter dans le cas de variations successives de l'humidité du combustible bois ?

Réduire les fluctuations d'humidité du combustible livré sur une même chaufferie

Sur des livraisons successives, la régularité de l'humidité est importante pour éviter : des réglages intempestifs, une perte de performance de la chaudière, des impacts sur l'environnement (-> Passer du sec à l'humide peut entraîner un étouffement partiel ou total du foyer qui peut engendrer la formation d'imbrûlés gazeux) et des impacts sur la chaudière elle-même (-> Passer de l'humide au sec peut entraîner la formation de points chauds qui vont dégrader les éléments du foyer). Il est donc recommandé de :

- **Contrôler l'humidité du bois après le broyage, en amont des livraisons** pour éviter que celles-ci ne soient trop différentes en humidité.
- Selon le nombre d'exploitants différents présents sur un même bassin d'approvisionnement, **réduire par chaufferie les plages d'acceptation et proposer toute la gamme d'humidité au**

travers de plusieurs installations. Cela permettra aux fournisseurs d'orienter les camions en fonction des humidités mesurées.

- **Informé la chaufferie des humidités** que le fournisseur de combustible va livrer et pas seulement faire un contrôle au déchargement dans le silo. Il faudrait alors que le fournisseur ou producteur contrôle l'humidité et s'engage à prévenir la chaufferie en amont des livraisons notamment en cas de fluctuations importantes de l'humidité. En cas d'évolution hors cahier des charges, le fournisseur doit pouvoir prévenir au minimum 15 jours avant.

N.B. : Il y a des projets de Recherche & Développement pour développer des outils de mesure d'humidité utilisables à différents moments de l'itinéraire de production de la plaquette :

- *Un premier projet de développement d'un capteur de mesure instantanée de l'humidité du bois énergie dans les broyeurs forestiers, nommé AUTOLAB 36K est en cours. Porté par des acteurs du bois-énergie, ce projet unique vise à créer un outil au service de toute la filière, permettant de travailler en flux-tendu et d'optimiser le fonctionnement des installations. (source : <https://www.fibois-aura.org/wp-content/uploads/2021/06/mentionBois25-consultation.pdf>)*
- *Un autre projet sur lequel énergéticiens et fournisseurs travaillent est un humidimètre pour connaître l'humidité du bois avant que le camion ne parte du chantier forestier et pas uniquement à la prise d'échantillon au déchargement du camion dans le silo.*

Adapter les réglages sur l'automate de la chaudière / envisager l'adaptation de l'installation (recirculation, épaisseur du réfractaire...) quand c'est possible techniquement et financièrement

Les chaudières sont capables de gérer un combustible de 30 à 40% d'humidité par automatisme (sans le besoin que celui-ci soit complexe) **la chaudière s'adapte**. Malgré tout il pourrait être utile de **développer, selon les besoins, les compétences techniques de pilotage des techniciens** sur les chaufferies. Les techniciens en chaufferies ont à priori reçu une formation avec les bases sur la conduite des chaudières bois mais il est possible d'imaginer des formations plus poussées ou des remises à niveau régulières.

- **Utiliser les recettes de combustion** dans les programmes des chaudières. C'est ce qui est déjà fait dans la pratique. Les techniciens changent de recette de combustion selon l'humidité de la biomasse (il y a entre 3 et 5 recettes en général sur les chaudières de moyenne et plus forte puissance). Les recettes de combustion permettent de faire fonctionner la chaudière avec un combustible à différentes humidités ne dépassant pas les valeurs min/max.
- **Surveiller de près la combustion** pour réagir aux grosses fluctuations de combustion que l'électronique ne pourrait pas prendre en charge. Le client aura plus de « suivi humain » à effectuer de la chaudière.
 - Si un combustible est livré plus sec avec une humidité restant supérieure à 30% il faut **reprendre les réglages**. Par exemple sur les chaudières équipées de la recirculation de fumées (avec l'air primaire), il est important d'optimiser son utilisation. Installer une recirculation de fumées à posteriori est coûteux pour l'exploitant et nécessite de plus un peu de place en chaufferie pour reprendre les conduits. C'est une solution à prendre en compte bien entendu mais pas toujours possible ou envisageable (faisabilité technique, place suffisante en chaufferie, coût pour l'exploitant, coût / bénéfice pour l'installation).
 - Si le combustible a une humidité entre 25-30% de manière récurrente il pourrait être nécessaire de **retirer du réfractaire**. Retirer du réfractaire a à aussi un certain coût pour l'exploitant (le chaudiériste va intervenir pour en enlever une certaine partie dans des endroits bien précis du foyer). Donc à voir plutôt comme une solution de dernier recours ou si le changement de combustible / d'humidité est définitif et que l'on souhaite utiliser la même chaudière.

- Si le combustible a une humidité en dessous de 25% les chaudières ne sont pas conçues pour ça et il faut prévoir une chaudière spécifique en amont.

N.B. : Sur les chaudières, des constructeurs ont mis en place des sondes qui prennent l'humidité au niveau de la trémie d'introduction sur une moyenne d'une heure glissante et s'il y a changement d'humidité les réglages changent. Il est possible de mettre en place ces sondes sur les chaudières existantes.

Régulariser le combustible (Les contrats d'approvisionnement peuvent évoluer au besoin)

- **Mélanger le combustible à un produit plus humide.** Idéalement prévoir un mélange sur une plateforme de préparation ou sur le site de la chaufferie bois (par exemple certaines chaufferies de forte puissance ou certains CRE peuvent permettre un mélange sur site ; les centrales équipées d'un pont roulant et d'un grappin peuvent également procéder à un certain mélange de leurs livraisons) pour permettre une humidité régulière du combustible à +/- 10% idéalement à 35% +/- 10% (ce qu'ont fait les sociétés coopératives d'intérêt collectif).
 - **Limiter le flux tendu et inciter le passage par plateforme de transformation**, mais avec un coût supplémentaire et non négligeable
 - **Sur le site de la chaufferie** avec une mesure de l'humidité au moment de la livraison, les opérateurs peuvent alors mettre en place un mélange dans le stock, quand cela est possible :
 - Si le système de réception et manutention existant (par exemple des chaudières de plusieurs MW équipées de grappin et pont roulant) est prévu pour **mélanger les différentes livraisons et ajuster dans la mesure du possible l'humidité**, c'est indéniablement un plus mais ça a un coût. Il est recommandé de voir avec les fournisseurs de grappins comment améliorer la prise en main du système pour proposer des systèmes de mélange plus efficaces.
 - Si la plateforme de réception et les équipements (par exemple sur des grosses chaufferies/CRE ou sur des chaufferies avec stockage sur dalle et équipées d'un chargeur pour reprendre le combustible) le permettent, **mélanger les livraisons manuellement** mais il y aurait alors plus de « suivi humain » à effectuer
- **Faire évoluer le mixte produit pour des chaufferies biomasse en-dessous d'une certaine puissance** dans la mesure du possible et en fonction des contraintes liées à un changement de combustible (modification du plan d'approvisionnement, autre ressource plus humide disponible localement, augmentation du P1, etc.) :
 - En **s'approvisionnant en mono-produit**, le client est moins exposé aux problèmes liés à l'évolution de l'humidité du combustible. Par exemple dans le cas :
 - D'un approvisionnement à 100% de plaquettes forestières l'humidité minimale est entre 30_35% donc le problème se pose moins.
 - Des industries (de transformation du bois) l'approvisionnement est souvent mono-combustible donc il n'y pas ce problème.
 - En **diminuant la part de combustible plus sec** (par exemple bois d'emballage), ...mais avec des conséquences sur les coûts du mélange.

N.B. : Avec le passage par plateforme de transformation

- *Les compétences sont là pour travailler les mixtes produits en mélange (bois de palette par exemple). Dans ce cas il n'y a plus de raison de voir apparaître des plages d'humidité de 15% à 55%. Par contre selon les produits travaillés il peut bien évidemment y avoir des plages d'humidité autour de 50%.*
- *Des coûts supplémentaires s'ajoutent. Dans ce cas le combustible bois-énergie peut être plus cher sur un marché concurrentiel de la production d'énergie.*