

OPTIMISER LE FONCTIONNEMENT DES CHAUFFERIES BOIS

Interreg 
France (Channel
Manche) England
OPTIWOOD
Fonds européen de développement régional



Le projet Optiwood, qui se déroule de fin 2018 à fin 2020, a pour objectif d'améliorer les performances des chaudières bois en fonctionnement. Douze chaufferies bois pilotes en France et au Royaume-Uni participent au projet et ont été instrumentées pour mesurer leur efficacité. En analysant les données du suivi et en travaillant étroitement avec les parties prenantes de chaque chaufferie (agent, société d'exploitation, constructeur...), les partenaires ont réussi à optimiser leurs performances. Voici les enseignements pratiques qui en résultent :

6 ÉTAPES

POUR OPTIMISER LES PERFORMANCES DES CHAUFFERIES BOIS

ÉTAPE

1

p.3 et 4

CONCEVOIR UNE CHAUFFERIE BOIS SIMPLE ET OPÉRATIONNELLE

Les choix techniques réalisés en phase de conception sont un préalable crucial pour s'assurer des bonnes performances de l'installation.

ÉTAPE

2

p.5

BRÛLER DU BOIS DÉCHIQUETÉ DE QUALITÉ ADAPTÉE

Les caractéristiques du bois sont spécifiques à chaque installation. Elles sont à préciser dans un contrat et à vérifier à chaque livraison.

ÉTAPE

3

p.6

CONFIER L'EXPLOITATION À DU PERSONNEL FORMÉ ET IMPLIQUÉ

Du personnel compétent et motivé = De bonnes performances assurées !

ÉTAPE

4

p.7 et 8

RÉGLER L'INSTALLATION POUR OPTIMISER LA COMBUSTION DU BOIS

Les réglages de la chaudière permettent d'obtenir une meilleure combustion, limitant les rejets atmosphériques et produisant des cendres de bonne qualité, fines et claires.

ÉTAPE

5

p.9 à 11

SUIVRE LES PERFORMANCES DE SA CHAUFFERIE

En relevant et en analysant les indicateurs spécifiques à l'installation il est possible d'identifier une dérive de performance ou un dysfonctionnement.

ÉTAPE

6

p.12 et 13

ASSURER LA MAINTENANCE APPROPRIÉE

Mieux vaut prévenir que guérir ! L'entretien régulier de l'installation permet d'éviter nombre d'arrêts techniques. En cas de dysfonctionnement, la réactivité d'intervention limite le recours à l'énergie de secours.

12

p.14 à 19

CHAUFFERIES BOIS PILOTES RÉSULTATS DU SUIVI DES SITES PILOTES

Les chaufferies bois instrumentées ont des puissances comprises entre 150 kW et 800 kW. Elles alimentent des secteurs d'activité variés : hôpital, maison de retraite, centre aquatique. Présentation des résultats de 6 installations.

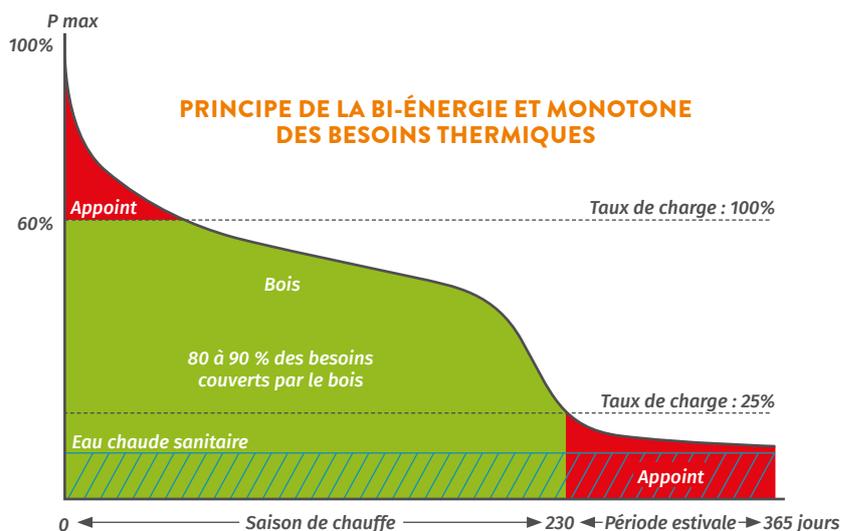
ÉTAPE 1

CONCEVOIR UNE CHAUFFERIE BOIS SIMPLE ET OPÉRATIONNELLE

Les choix techniques réalisés en phase de conception sont un préalable pour s'assurer des bonnes performances de l'installation. Les points suivants ont impacté les performances des installations suivies lors du projet Optiwood.

L'importance du dimensionnement de la chaudière bois

De par son inertie importante, la chaudière bois doit être dimensionnée de manière à ce qu'elle fonctionne **le maximum de temps à pleine charge**. D'où l'importance d'estimer au plus juste les besoins énergétiques du bâtiment et de prendre en compte les travaux de rénovation énergétique.



La courbe monotone représente la répartition des appels de puissance sur une année. Généralement, un dimensionnement de la chaudière bois aux alentours de 60 % de la puissance maximum permet de couvrir 80 % à 90 % des besoins annuels. Le reste peut être couvert par une chaudière d'appoint fossile ou autre chaudière bois.

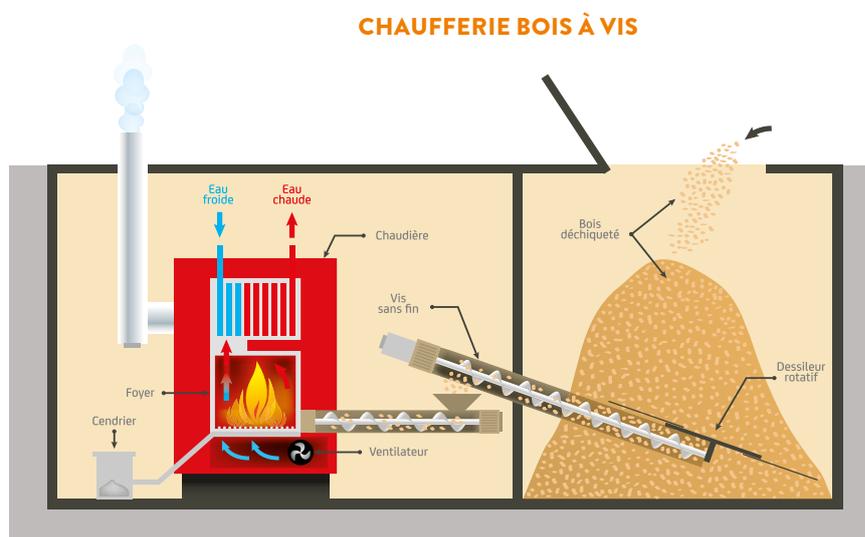
L'optimisation du fonctionnement de l'équipement, sollicité plus longtemps à sa puissance nominale permet d'éviter le fonctionnement de la chaudière en courts cycles entraînant :

- une surconsommation de bois, avec des surcoûts associés
- une usure prématurée de la chaudière, du réfractaire, des pompes, des moteurs
- un encrassement plus rapide de la chaudière et des émissions polluantes importantes

Le transfert silo-foyer : point sensible des petites installations

Pour les chaufferies de petite et moyenne puissance (< 500 kW), le transfert du bois du silo à la chaudière se fait généralement par une vis sans fin. Pour que le transfert fonctionne correctement, quelques recommandations :

- **Le silo** est placé à côté de la chaufferie et si possible de plain-pied avec la chaudière.
- **Vis de transfert** : on limite le nombre de vis, l'inclinaison de la vis n'exécède pas 30° et la longueur n'exécède pas 6m.
- **La qualité du combustible est stricte** : l'humidité et la granulométrie du bois sont adaptés et constants pour éviter les blocages de la vis.
- **Fraction de fines** (poussières) du combustible en quantité limitée.

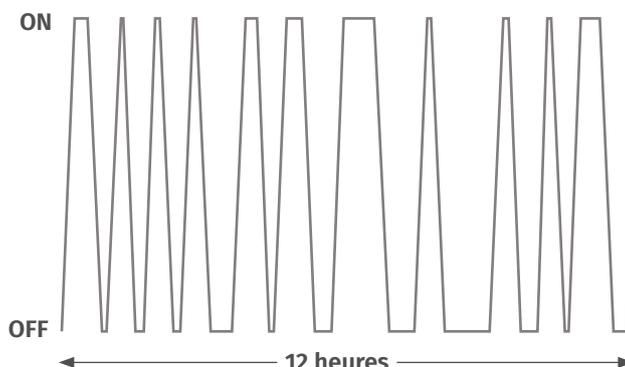


Les nombreux atouts du ballon d'hydroaccumulation

Le ballon d'hydroaccumulation ou ballon tampon est une réserve d'eau chaude primaire qui améliore l'efficacité de la chaudière bois : il assure un fonctionnement optimal de la chaudière à bois à toutes saisons, augmente son rendement et allonge la durée de vie de la chaudière. Il est indispensable !

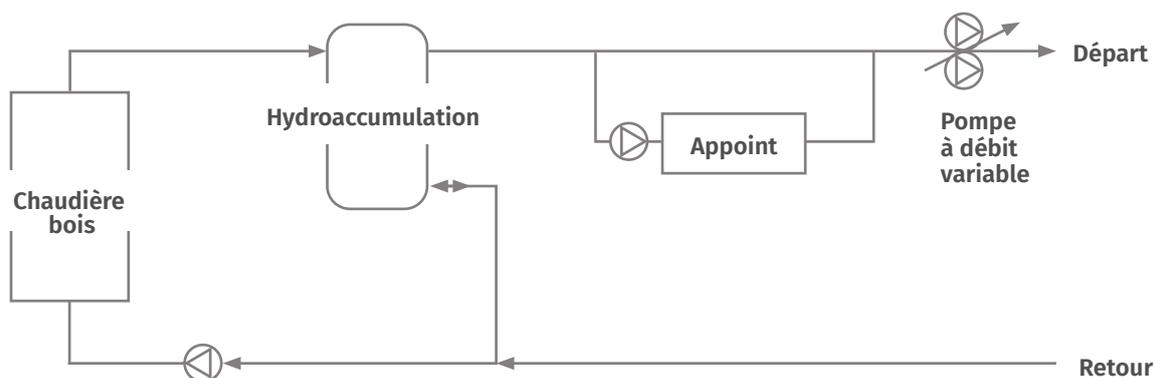
FONCTIONNEMENT DE LA CHAUDIÈRE EN COURTS-CYCLES

Le ballon tampon fournit instantanément de la chaleur, sans avoir à faire constamment tourner la chaudière bois. Il permet d'éviter le fonctionnement de la chaudière en courts cycles, comme illustré sur le schéma, où la chaudière passe beaucoup de temps à démarrer et s'arrêter.



Hydraulique et régulation : prioriser la chaudière bois

EXEMPLE DE SCHÉMA HYDRAULIQUE DE PRINCIPE



Quel que soit le mode de régulation, la priorité de fonctionnement doit être donnée à la chaudière bois. Le ballon d'hydroaccumulation doit être chargé par la chaudière bois, préférentiellement en amont de la chaudière d'appoint (Figure). Dans le cas d'une régulation de la cascade par la chaudière bois, il faut par exemple respecter un écart de 10°C à 15°C entre la consigne de la température de départ de la chaudière bois et celle de la chaudière d'appoint.

Faciliter l'exploitation

Impliquer l'équipe de maintenance lors de la conception de la chaufferie permet de mieux anticiper les problématiques de maintenance :

- Prévoir la place nécessaire en chaufferie pour faciliter la maintenance (ramonage, remplacement des pièces d'usure, manutention du bac de cendres...) : compter 2 fois la hauteur de la chaudière, 1 m de chaque côté de la chaudière et 2 m en face avant
- Choisir une chaudière équipée de système de ramonage automatique des tubes de fumées
- Investir dans du matériel de nettoyage de l'installation (aspirateur de cendres...)
- Installer les équipements de suivi des performances : compteur sortie chaudière bois, compteur sortie chaudière d'appoint, GTB si nécessaire.

ÉTAPE 2

BRÛLER DU BOIS DÉCHIQUETÉ DE QUALITÉ ADAPTÉE

Les caractéristiques du bois sont spécifiques à chaque installation. Elles sont à préciser dans un contrat et à vérifier à chaque livraison.

Appréhender la qualité de bois adaptée à sa chaudière

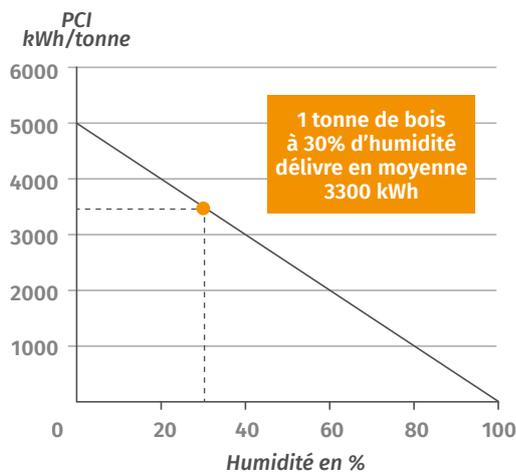
Lors de la consultation des fournisseurs, il est important d'indiquer les quantités et qualités de combustible et d'exiger un combustible homogène en qualité (humidité, granulométrie) sur la saison de chauffe. Les prescriptions sont fournies par le constructeur de chaudière. La fourchette acceptée doit être restreinte par rapport aux prescriptions constructeur, pour faciliter l'exploitation.

Chaleur Bois Qualité+ est une démarche de certification des fournisseurs pour la gestion de la qualité de l'approvisionnement bois de chaufferies. Il intègre un aspect qualité et maîtrise dans le temps des caractéristiques des combustibles. La démarche est développée en Bretagne depuis 2018 et gérée par Abibois.

Vérifier la qualité du bois, à chaque livraison

L'agent doit être présent pour attester la qualité du combustible par un contrôle visuel et par une mesure de l'humidité. Il peut refuser une livraison si elle ne correspond pas au cahier des charges. Le fournisseur délivre un bon de **livraison** qui précise **le tonnage, le taux d'humidité** et si possible la granulométrie et le taux de fines du bois.

POUVOIR CALORIFIQUE DU BOIS EN FONCTION DE L'HUMIDITÉ



Le taux d'humidité : c'est le paramètre essentiel car il influence le plus la quantité d'énergie qui entre dans la chaudière, bien plus que le type d'essence, notamment résineux ou feuillus.

La granulométrie : elle correspond aux dimensions de la plaquette. Une granulométrie régulière facilite le transfert du combustible, notamment dans la vis sans fin, et facilite la combustion, grâce à un bon mélange entre l'air et le combustible.

Le taux de fines correspond à la quantité de particules de taille inférieure à 3,15 mm. Un taux de fines élevé augmente le risque de bourrage de la vis de convoyage, d'encrassement du foyer, des tubes et l'émission de particules dans les fumées. Il faut donc veiller à ce que le taux de fines reste limité (5% à 10% max selon l'installation).



À SAVOIR

Pour valider le combustible, il est possible de procéder à une analyse. AILE propose des prestations de mesures de caractéristiques du combustible et compare l'échantillon aux prescriptions du constructeur ou du cahier des charges

TEST À RÉALISER SUR LE COMBUSTIBLE

	Test	Fréquence	Matériel
Humidité	Pesée d'un échantillon de bois avant et après séchage	A chaque livraison	Micro-onde (coût < 100 €) Durée 30 mn Danger, surveillance nécessaire
			Etuve (coût 1000 €) Durée 24h - Sécurisé
Granulométrie / taux de fines	Contrôle visuel par agent	A chaque livraison	
	Mesure par tamiseuse	Si besoin	Analyse en laboratoire

ÉTAPE 3

CONFIER L'EXPLOITATION À DU PERSONNEL FORMÉ ET IMPLIQUÉ

La conduite d'une chaufferie bois nécessite du personnel et des compétences. Suivant la taille du projet, la collectivité pourra gérer ses équipements en interne ou se faire accompagner par une entreprise spécialisée.

**Une bonne conduite
de l'installation**



- Dépenses d'exploitation réduites
- Risques de panne limités
- Performances élevées
- Installation pérennisée

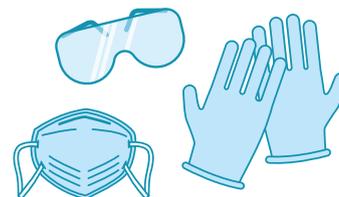


Formation à la conduite de chaufferies bois

- Impliquer l'agent, dès la phase de conception
- S'assurer de la compétence et de la disponibilité de l'agent
- Proposer des formations techniques adaptées aux besoins de l'agent
- Vérifier la bonne réalisation des entretiens courants
- Prévoir, conformément à la législation, deux entretiens complets par an assurés par un prestataire compétent et qualifié
- S'assurer du suivi de la performance de l'installation

Pour assurer la bonne conduite de son installation, l'agent doit être équipé d'outils :

- **Equipements de protection individuels** (gants, masque, lunettes...)
- **Matériels spécifiques** de ramonage et d'entretien : aspirateur à suies et cendres, compresseur, pompes à graisse ...
- **Le livret de chaufferie** comprenant :
 - notice d'utilisation de l'installation,
 - cahier des entretiens,
 - bons de livraison de combustibles,
 - cahier de maintenance...



À SAVOIR

AILE organise régulièrement des formations à la conduite de chaufferies bois. Deux journées sont consacrées aux opérations de conduite, de la réception du combustible jusqu'à la gestion des cendres. Une troisième journée, réalisée ultérieurement accompagne l'agent à l'amélioration du fonctionnement de son installation.



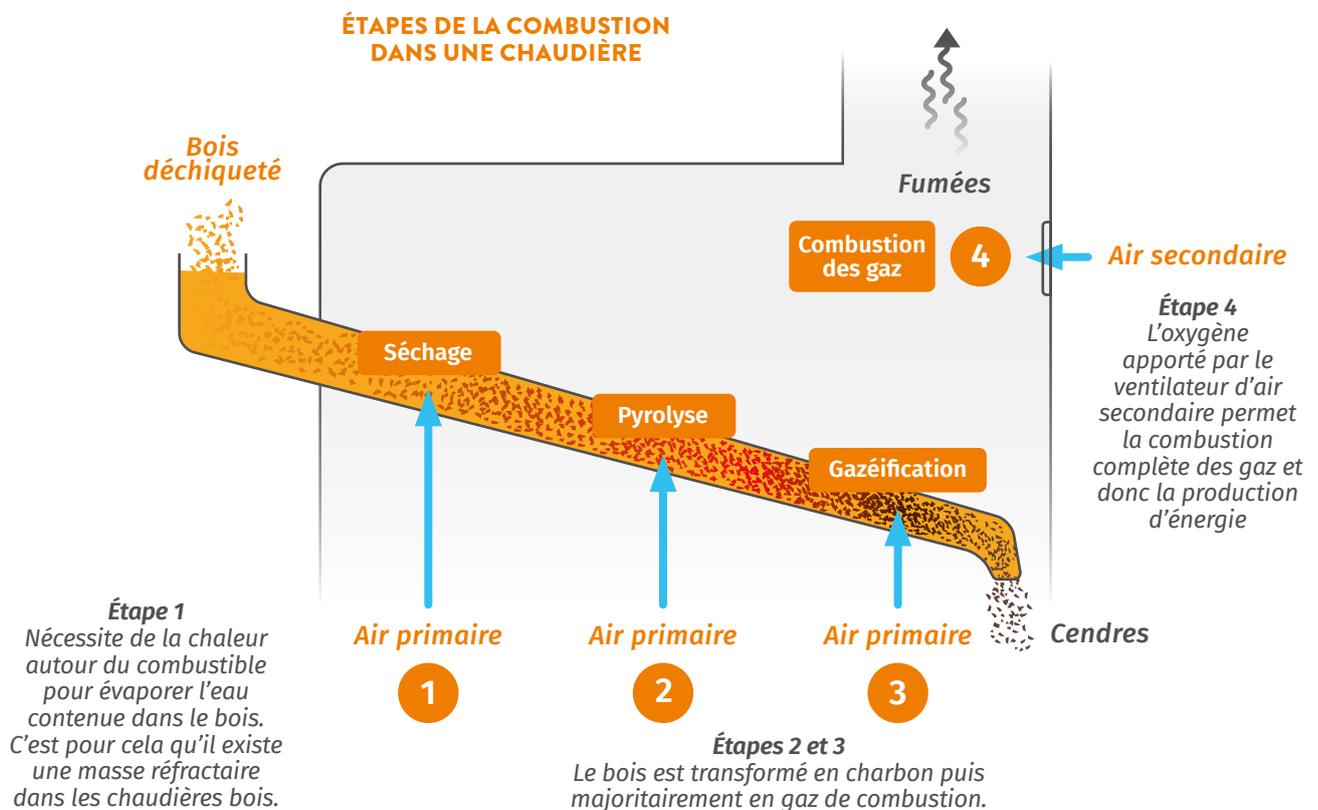
Formation organisée par AILE, avec l'expertise du CRER

ÉTAPE 4

RÉGLER L'INSTALLATION POUR OPTIMISER LA COMBUSTION DU BOIS

Les étapes de la combustion

Quelle que soit la technologie de la chaudière, la combustion du bois est réalisée selon 4 étapes.



Un **combustible trop humide** peut conduire à :

- La formation de goudrons à l'étape 2 qui recouvriront la surface de l'échangeur de chaleur et entraineront une baisse de rendement et des dysfonctionnements éventuels
- La production de fumée noire à cause de l'oxydation incomplète des gaz et l'émission de polluants (imbrûlés)

Un **combustible trop sec** peut créer une élévation des températures de la grille (étape 2) et de la zone d'oxydation (étape 4), avec une formation de mâchefers et d'oxydes d'azote (NOx). La recirculation des gaz de combustion vers l'air primaire permet de réduire ce phénomène.



Mâchefer

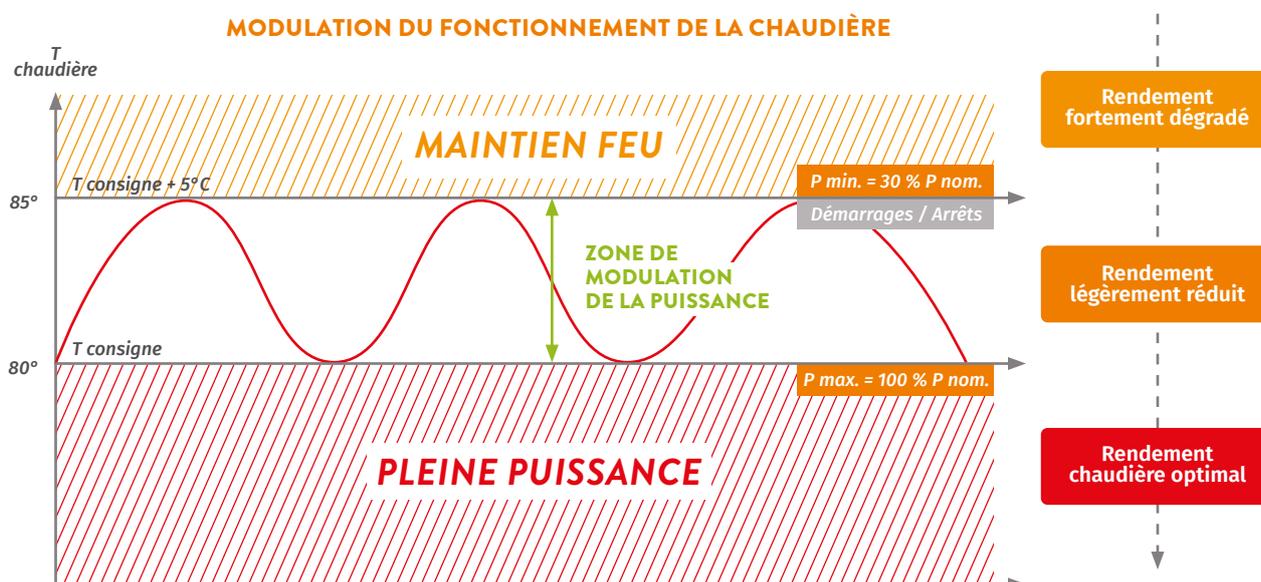
Quels réglages pour optimiser la combustion ?

Réglage air primaire / air secondaire pour optimiser la combustion des gaz

Un contrôle séparé de l'air primaire, qui arrive par le dessous de la grille, et de l'air secondaire, qui arrive dans la zone d'oxydation des gaz, est nécessaire pour ne pas trop élever la température de la grille pour l'étape 2 (et éviter la formation de mâchefers) tout en assurant une température, une vitesse et une turbulence suffisamment élevées pour oxyder complètement les gaz de bois à l'étape 4.

Réglage du temps de pause de la grille mobile : c'est la durée entre 2 périodes de fonctionnement de la grille mobile. En cas de formation de mâchefers, il est recommandé de diminuer le temps de pause de la grille mobile. La limite étant la présence d'imbrulés dans les cendres (charbon de bois).

Réglages pour allonger la durée des cycles de fonctionnement de la chaudière



On cherche à obtenir le fonctionnement le plus stable possible de la chaudière, en évitant les courts-cycles et en favorisant au maximum les périodes de fonctionnement à pleine puissance.

- **Réduire la plage de fonctionnement de la chaudière :** programmer l'arrêt de la chaudière et du maintien en température du ballon tampon quand le bâtiment est inoccupé.
- **Augmenter le taux de charge de la chaudière :** ajouter un ballon tampon, réduire l'usage de la chaudière d'appoint, raccorder d'autres bâtiments à la chaufferie.
- **Augmenter le Delta T°C :** la température de consigne de la chaudière est à ajuster en fonction des besoins du système de chauffage, avec un Delta T°C de 20°C entre le départ de la chaudière bois généralement de 80°C, et le retour chauffage, qui ne peut descendre sous 60°C pour éviter les risques de corrosion de la chaudière. Les pompes étant souvent dimensionnées pour un Delta T°C de 20°C.
- **Réduire le taux d'alimentation minimum** de la chaudière ou valeur basse de la plage de modulation de puissance de la chaudière : le régler le plus bas possible pour permettre à la chaudière de moduler sa puissance sur la plus grande plage possible, et éviter au maximum les phases d'arrêt thermostatique ou de maintien-feu.



IMPORTANT

Les réglages de la chaudière doivent être ajustés par des personnes compétentes, en lien avec le fabricant de chaudière. Le réglage de la chaudière, opération longue, est réalisé pour une qualité de bois donnée. Il est donc préférable de privilégier la stabilité du combustible livré.

ÉTAPE 5

SUIVRE LES PERFORMANCES DE SA CHAUFFERIE

Le but d'un bilan de performances est de quantifier à l'aide d'indicateurs objectifs le niveau de fonctionnement de la chaudière. Il permet de lever les éventuels dysfonctionnements. Un tel bilan ne peut se faire qu'en étroite collaboration avec l'agent de maintenance qui assure la conduite de la chaufferie au quotidien.

Contrôle régulier des paramètres de la chaudière

Les paramètres suivants sont à contrôler régulièrement pour identifier rapidement une dérive de performance ou un dysfonctionnement.

PARAMÈTRES CHAUDIÈRE À CONTRÔLER

	Valeurs de référence en régime nominale	Remarque
Température des fumées	150° à 190°C	En fonction de la modulation de puissance
Dépression foyer de la chaudière	-50 à -15 Pascal	Une chaudière bois doit toujours être en dépression pour éviter les émanations de fumées et de cendres dans la chaufferie
Taux d'oxygène contenu dans les fumées	9 % à 11% d'oxygène	La taux d'oxygène contenu dans l'air est de 21 %
Température de l'eau départ chaudière	80° à 95°C	En fonction du réseau et des émetteurs
Température de l'eau retour chaudière	T 20° en dessous de la température de départ	En fonction du débit du circulateur
Température foyer chaudière	650° à 900°C	Dépend de la position de la sonde dans le foyer

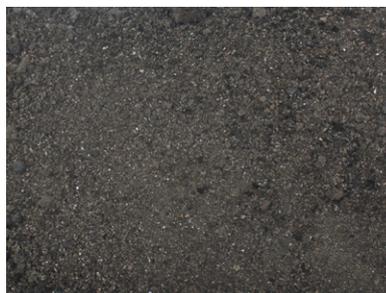
Suivi de la qualité des cendres

Cendres fines
de couleur gris clair



Signe d'une combustion complète du combustible

Cendres de couleur noire
ou gris foncé



Signe d'une combustion incomplète du combustible

Cendres épaisses, grossières
Présence de blocs de mâchefers



Signe de vitrification des cendres et /ou combustible de mauvaise qualité

Suivre sa consommation de bois

■ **Quantifier l'énergie bois (en MWh)** entrant dans la chaudière, grâce aux éléments relevés à chaque livraison de bois et répertoriés dans le livret de chaufferie :

- **Le tonnage de bois** livré.
- **Le taux d'humidité du bois**, noté sur le bon de commande et contrôlé à chaque livraison.
- **Observation utile sur la qualité du combustible** (granulométrie, taux de fines, corps étrangers...) et sur les conditions de livraison.

Le taux d'humidité permet de calculer directement la **quantité d'énergie** entrant dans la chaudière :

$$\text{PCI (kWh/t)} = \text{PCI}_{\text{anhydre}} \times \frac{(100 - H)}{100} - 6 \times H$$

H = humidité en %

Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du bois anhydre (H=0%) varie selon l'essence, de 4800 à 5200 kWh/t pour du bois feuillu, de 5100 à 5300 kWh/t pour du résineux. En moyenne on peut considérer un PCI du bois anhydre de 5000 kWh/tonne.

Suivre sa consommation d'énergie d'appoint

■ **Quantifier l'énergie d'appoint**

	GAZ	FIOUL	PROPANE
PCI	10,4 kWh/Nm ³	9,96 kWh/litre	12,78 kWh/kg

Le suivi de la consommation d'énergie d'appoint grâce au relevé du compteur de gaz ou au suivi des livraisons pour le fioul et le propane.

Relever les compteurs

■ **Quantifier l'énergie produite par la chaudière bois**

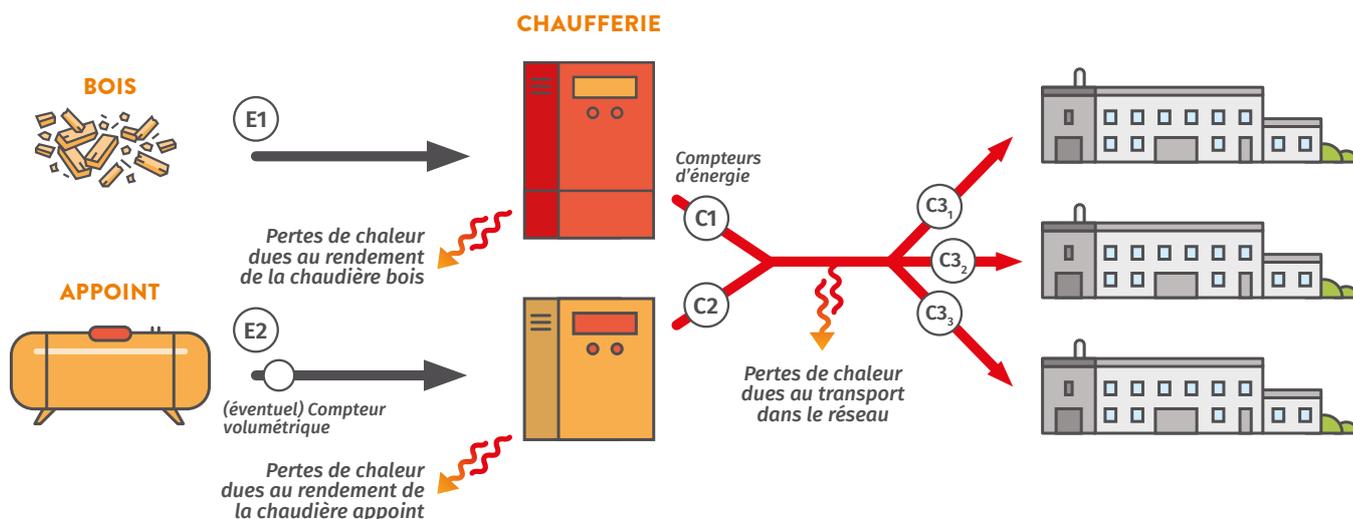
Cette liste des compteurs est à relever régulièrement, par exemple à chaque livraison de bois, pour réaliser un suivi de la performance énergétique de la chaufferie :

- **Les compteurs d'énergie en sortie des chaudières bois et d'appoint** : pour évaluer la chaleur produite par chacune des chaudières.
- **Les compteurs d'énergie en sous-stations** : pour connaître la chaleur utile consommée par les bâtiments raccordés au réseau et calculer les pertes sur le réseau.

Suivre les arrêts de la chaudière bois

Quel que soit le type d'arrêt, arrêt pour entretien préventif (ramonages, maintenance en saison...) ou arrêt pour panne ou défaut, il est utile de noter dans le livret de chaufferie, la cause de l'arrêt, le code défaut et son libellé, l'heure et la date d'arrêt de la chaudière ainsi que l'heure et la date de remise en fonctionnement.

Calculer la performance de la chaufferie



Le **taux de couverture bois** correspond à la part des besoins en chaleur produits par la chaudière bois par rapport à la totalité des besoins. Les chaudières bois sont souvent dimensionnées pour couvrir autour de **80%** des besoins thermiques. Une valeur plus basse peut s'expliquer par un dysfonctionnement ou des problèmes d'exploitation.

$$\text{Taux de couverture (en \%)} = \frac{\text{Energie sortie chaudière bois en MWh (C1)}}{\text{Energie sortie chaudières bois + appoint en MWh (C1+C2)}}$$

Le **rendement moyen** de la chaudière bois est le rapport de la chaleur bois produite sur l'énergie bois entrante. Sur une saison de chauffe, le rendement d'une chaudière bois efficace est d'environ **80%**. Une valeur plus basse est signe d'une surconsommation de bois et de facture énergétique alourdie.

$$\text{Rendement chaudière (en \%)} = \frac{\text{Energie sortie chaudière (C1)}}{\text{Energie entrée chaudière (E1)}}$$

Le **rendement du réseau de chaleur** est le rapport entre l'énergie livrée dans les bâtiments et l'énergie produite par les chaudières. Le rendement est généralement situé autour de 85-90%.

$$\text{Rendement réseau (en\%)} = \frac{\text{Energie livrée (C3}_1\text{ + C3}_2\text{ + C3}_3\text{...)}}{\text{Energie produite (C1+C2)}}$$

Les résultats sont à comparer avec les valeurs de performance de l'étude prévisionnelle. Si ces valeurs ne sont pas atteintes, l'équilibre financier du projet risque d'être menacé car les économies prévues ne seront pas atteintes.



À SAVOIR

Pour accompagner les gestionnaires de chaufferies bois dans l'optimisation de leur chaufferie bois, AILE propose la réalisation de bilan de fonctionnement (calcul d'indicateurs de fonctionnement, comparaison avec la situation prévisionnelle, propositions d'actions correctrices).

ÉTAPE 6

ASSURER LA MAINTENANCE APPROPRIÉE

L'entretien régulier de l'installation permet d'éviter nombre d'arrêts techniques. En cas de panne, la réactivité d'intervention limite le recours à l'énergie de secours, plus coûteuse.

La maintenance préventive

Une chaudière bois exige un entretien plus important et complexe qu'une chaudière gaz ou fioul.

Une **visite de contrôle** doit être effectuée si possible tous les jours pour vérifier le bon fonctionnement de l'installation : bon écoulement du combustible, absence de défaut d'affichage ou de bruits anormaux...

Afin de garantir un entretien régulier, il est fortement recommandé de rédiger **un plan d'entretien de l'installation**. Le constructeur peut fournir un modèle à adapter.



Entretien d'une chaudière par un agent

La plupart de ces tâches peuvent être réalisées en régie (entretien quotidien et hebdomadaire relevant de la conduite de l'installation) mais certaines nécessitent du matériel spécifique ou des compétences reconnues (compétence professionnelle, formation constructeur, entreprise de ramonage agréée).

EXEMPLE DE TABLEAU DE MAINTENANCE

FRÉQUENCE	DESCRIPTION DE LA TÂCHE	NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS
HEBDOMADAIRE	Nettoyage de la chaudière et retrait des cendres	Formation de base aux opérations de nettoyage
MENSUEL	Lubrification régulière des pièces mécaniques et contrôle de l'usure	Expérience des pièces mécaniques et de la sécurité de fonctionnement
MENSUEL	Vérification du bon fonctionnement de la chaudière et de l'absence de dommages	Connaissance du fonctionnement de la chaudière
BI-ANNUEL	Entretien périodique de la chaudière	Entreprise agréée



À SAVOIR

Liste plus exhaustive des points d'entretien téléchargeable sur www.optiwood.org

La maintenance curative

Pour limiter l'usage de combustibles fossiles (et les surcoûts en conséquence), il est important d'intervenir le plus rapidement possible après la constatation d'une panne. En cas de maintenance externe, il est recommandé de fixer contractuellement un délai d'intervention lors des arrêts de la chaudière bois. En cas d'arrêt sur défaut, le code défaut doit être noté et les causes de son apparition identifiées avant de relancer la chaudière.

11 POINTS D'ENTRETIEN CRITIQUES QUI ONT ÉTÉ CONSTATÉS SUR LES SITES PILOTES DU PROJET OPTIWOOD

- 1** **Maintenance du plateau dessileur rotatif** : implique de vider entièrement le silo une fois par an et d'avoir des pièces de rechange en stock (lames ou ressorts selon le type de plateau).
- 2** **Vis de transfert en pente** : l'accumulation des fines endommage le palier en pied de vis, garder un palier de rechange en stock et équiper le fourreau de la vis d'une trappe d'accès en pied de vis afin de vider régulièrement les fines accumulées.
- 3** **Les capteurs optiques situés en différents points de la chaîne de convoyage s'encrassent** : les nettoyer régulièrement (en fonction de la poussière dégagée par le bois) et avoir un jeu d'émetteur-récepteur en stock en cas de casse.
- 4** **La grille mobile du foyer** doit être régulièrement entretenue et nettoyée des cendres qui se logent dans les interstices et perturbent l'arrivée d'air primaire.
- 5** **Le foyer, la voute et les arrivées d'air secondaire doivent être régulièrement nettoyés** afin de maintenir un bon rendement de combustion.
- 6** **La sonde lambda s'encrasse vite et peut perdre en précision** : la nettoyer régulièrement en la tapotant délicatement. Certains modèles de sondes peuvent être étalonnés à l'air ambiant.
- 7** **Les températures de fumées doivent être suivies quotidiennement** car elles déterminent le déclenchement du ramonage de l'échangeur à tubes de fumées.
- 8** La présence d'un ramoneur automatique ne dispense pas du **nettoyage manuel des tubes de fumées**, au minimum une fois par an, avec démontage des turbulateurs mobiles pour accéder à l'intérieur des tubes. Au remontage veiller à ce que les turbulateurs aient conservé l'intégralité de leur course, soit en général 2 à 3 centimètres.
- 9** Pour les chaudières à échangeur vertical, il faut régulièrement **nettoyer le fond de l'échangeur** et aspirer la cendre accumulée au pied des tubes de fumées pour éviter le blocage des turbulateurs.
- 10** **Les servomoteurs** qui actionnent les volets d'air primaire, d'air secondaire et de recirculation des gaz de fumées (RGF) doivent être régulièrement contrôlés afin d'assurer le bon apport d'oxygène à la combustion du bois.
- 11** Il est fortement recommandé de **faire intervenir le constructeur** une fois par an, en intersaison afin qu'il réalise **la maintenance annuelle** et fasse des recommandations pour le remplacement préventif de pièces détachées (réfractaire, sabots de grille mobile, sondes...) et qu'il vérifie l'adéquation entre les réglages chaudière et le combustible utilisé.

SITE 1

CENTRE HOSPITALIER DE JOUR

- EHPAD et hôpital de jour
- Puissance chaudière bois : 500 kW
- Date démarrage : 2011

	Consommation bois	Taux de couverture bois	Rendement chaudière bois	Coût fonctionnement	Emissions CO ₂
Saison 2018/2019	253 tonnes 875 MWh	65 %	79 %	60 875 €	86 tonnes
Saison 2019/2020	280 tonnes 1 005 MWh	80 %	84 %	53 274 €	49 tonnes
Gain	+ 27 tonnes + 130 MWh	+ 15 %	+ 5 %	- 7 601 € (- 12 %)	- 37 tonnes



AMÉLIORATIONS RÉALISÉES

- Amélioration des réglages de la chaudière
- Entretien régulier en saison
- Suivi rigoureux des pannes et des codes défauts
- Optimisation de la maintenance curative : meilleure réactivité lors des pannes et raccourcissement du délai de remise en fonctionnement
- Formation constructeur suivie par l'agent de maintenance
- Mise en place d'un suivi de la performance énergétique de la chaufferie

RECOMMANDATIONS POUR POURSUIVRE L'OPTIMISATION

- Installer des ballons tampons afin de limiter les déclenchements courts de la chaudière gaz en hiver et limiter le fonctionnement de la chaudière bois en courts-cycles en demi-saison.
- Veiller à ce que la maintenance préventive d'intersaison réalisée par l'exploitant ne déborde pas sur la saison de chauffe.

SITE 2

CENTRE AQUATIQUE

- Centre aqua-ludique avec bassin sportif 25 mètres extérieur
- Puissance chaudière : 720 kW
- Date démarrage : 2010

	Consommation bois	Taux de couverture bois	Rendement chaudière bois	Coût fonctionnement	Emissions CO ₂
Saison 2018/2019	800 tonnes 2 959 MWh	76 %	Compteur hors service	151 524 €	197 tonnes
Saison 2019/2020	675 tonnes* 2 378 MWh	88 %	86 %	135 728 €	97 tonnes
Gain	- 125 tonnes - 581 MWh	+ 12 %	-	- 15 796 € (- 10 %)	- 100 tonnes

* La saison de chauffe 2019/2020 s'est exceptionnellement arrêtée au 17/03/2020 en raison de la fermeture de la piscine dès le début de la période de confinement.



AMÉLIORATIONS RÉALISÉES

- Réfection complète du foyer et du réfractaire à l'été 2019
- Reprise des réglages chaudière avec le constructeur afin d'améliorer la combustion et la qualité des cendres (limiter au maximum la production de mâchefers pendant la période estivale)
- Amélioration du suivi énergétique de la chaufferie avec le responsable de site

RECOMMANDATIONS POUR POURSUIVRE L'OPTIMISATION

- Uniformiser la qualité du bois livré par les 2 fournisseurs qui approvisionnent la chaufferie.
- En cas de qualité de bois différente, adapter les réglages chaudière pour chaque période de l'année (saison de chauffe + période estivale).
- Equiper la chaudière du système de ramonage automatique par air comprimé afin de réduire le nombre de ramonages manuels ou s'équiper d'un système de ramonage à air comprimé pour faciliter le nettoyage manuel de l'échangeur à tubes de fumées.

**SITE
3**

MAISON DE RETRAITE

- EHPAD
- Puissance chaudière : 300 kW
- Date démarrage : 2014

	Consommation bois	Taux de couverture bois	Rendement chaudière bois	Coût fonctionnement	Emissions CO ₂
Saison 2018/2019	182 tonnes 658 MWh	73 %	Compteur défaillant	46 056 €	68 tonnes
Saison 2019/2020	253 tonnes 949 MWh	88 %	70 - 75%	39 182 €	30 tonnes
Gain	+ 71 tonnes + 291 MWh	+ 15 %	-	- 6 874 € (- 15 %)	- 38 tonnes



AMÉLIORATIONS RÉALISÉES

- Révision des réglages chaudière avec le constructeur suite au remplacement du panneau de contrôle
- Entretiens réguliers en saison
- Suivi rigoureux des pannes et des codes défauts
- Optimisation de la maintenance curative : meilleure réactivité lors des pannes et raccourcissement du délai de remise en fonctionnement
- Mise en place d'un suivi de la performance énergétique de la chaufferie

RECOMMANDATIONS POUR POURSUIVRE L'OPTIMISATION

- Optimiser la cascade chaudières (vanne d'isolement motorisée chaudière gaz + arrêt circulateur chaudière gaz)
- Contrôler la maintenance préventive d'intersaison réalisée par l'exploitant

SITE
4

COLLÈGE

- Collège
- Puissance chaudière : 220 kW
- Date démarrage : 2010

	Consommation bois	Taux de couverture bois	Rendement chaudière bois	Coût fonctionnement	Emissions CO ₂
Saison 2018/2019	0 tonnes 0 MWh	0 %	-	32 476 €	85 tonnes
Saison 2019/2020	58 tonnes* 203 MWh	52 %*	81 %	25 850 €	41 tonnes
Gain	+ 58 tonnes + 203 MWh	+ 52 %	-	- 6 626 € (- 20 %)	- 44 tonnes

* A noter que le taux de couverture bois était de 70 % au 06/02/2020, c'est-à-dire avant la période de confinement pendant laquelle seule la chaudière gaz était en fonctionnement.



AMÉLIORATIONS RÉALISÉES

- Remplacement de la vis de transfert de 8 mètres inclinée à 45° par une vis sans âme
- Révision des réglages chaudière avec le constructeur suite au remplacement de la vis de transfert
- Entretien réguliers en saison
- Suivi rigoureux des pannes et des codes défauts
- Mise en place d'un suivi de la performance énergétique de la chaufferie

RECOMMANDATIONS POUR POURSUIVRE L'OPTIMISATION

- Etablir un contrat d'approvisionnement avec un fournisseur de bois
- Anticiper les commandes de bois pour ne pas tomber en panne de combustible (18 jours d'arrêt de la chaudière bois lors de l'hiver 2019/2020 pour manque de bois)
- Optimiser la cascade chaudières (vanne d'isolement motorisée chaudière gaz + arrêt circulateur chaudière gaz)

**SITE
5**

CENTRE AQUATIQUE

- Pataugeoire + bassin ludique + bassin sportif 25 mètres intérieur
- Puissance chaudière : 500 kW
- Date démarrage : 2010

	Consommation bois	Taux de couverture bois	Rendement chaudière bois	Coût fonctionnement	Emissions CO ₂
Saison 2018/2019	346 tonnes 1 128 MWh	50 %	83 %	112 673 €	247 tonnes
Saison 2019/2020	429 tonnes 1 376 MWh	58 %	80 %	106 620 €	209 tonnes
Gain	+ 83 tonnes + 248 MWh	+ 8 %	- 3 %	- 6053 € (- 5%)	- 38 tonnes



AMÉLIORATIONS RÉALISÉES

- Stabilisation du taux d'humidité du bois livré sur la saison de chauffe
- Optimisation de la maintenance préventive avec ramonages complets de l'échangeur chaudière
- Reprise des réglages chaudière avec le constructeur
- Formation constructeur suivie par 2 techniciens de maintenance de la société d'exploitation

RECOMMANDATIONS POUR POURSUIVRE L'OPTIMISATION

- Tout en conservant la stabilité, s'engager sur un taux d'humidité du combustible livré plus bas, 20%-25% au lieu de 30%-35%, afin d'augmenter la puissance chaudière en hiver
- Etre vigilant sur les corps étrangers dans le combustible qui risquent d'endommager le système de convoyage du bois
- Suivre les préconisations du constructeur pour la maintenance préventive d'intersaison
- Analyser les codes défauts de l'automate avant de relancer la chaudière pour éviter les pannes récurrentes
- Redémarrer la chaudière après la pause estivale au plus tard le 1^{er} octobre

SITE 6

MAISON DE RETRAITE

- EHPAD
- Puissance chaudière : 220 kW
- Date démarrage : 2011

	Consommation bois	Taux de couverture bois	Rendement chaudière bois	Coût fonctionnement	Emissions CO ₂
Saison 2018/2019	135 tonnes 541 MWh	74 %	79 %	43 740 €	43 tonnes
Saison 2019/2020	142 tonnes 561 MWh	80 %	Compteur défaillant	38 891 €	33 tonnes
Gain	+ 7 tonnes + 20 MWh	+ 6 %	-	- 4 848 € (- 11 %)	- 10 tonnes



AMÉLIORATIONS RÉALISÉES

- Achat du système de ramonage automatique par air comprimé
- Reprise des réglages chaudière avec le constructeur
- Nettoyage chaque vendredi de la grille mobile afin d'éviter les bourrages durant le week-end
- Suivi de la qualité des cendres
- Mise en place d'un suivi de la performance énergétique de la chaufferie

RECOMMANDATIONS POUR POURSUIVRE L'OPTIMISATION

- Mettre en service le système de ramonage automatique par air comprimé et s'assurer qu'il fonctionne à intervalle régulier
- En complément, réaliser le ramonage manuel de la chaudière (foyer + échangeur) toutes les 4 à 5 semaines, ou dès que la température des fumées dépasse 200°C
- Diminuer le temps de pause grille mobile jusqu'à disparition du mâchefer en hiver, dans la limite de la présence d'imbrûlés dans les cendres → si nécessaire, augmenter aussi progressivement le taux de recirculation des gaz de combustion



OPTIMISER LE FONCTIONNEMENT DES CHAUFFERIES BOIS

Pour aller plus loin :
Téléchargez la boîte à outils pour les agents de chaufferies bois sur :
www.optiwood.org/fr

Document réalisé
par les partenaires du projet OPTIWOOD :



Le projet OPTIWOOD est financé à hauteur de 80%
par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



AILE

73, rue de Saint-Brieuc - CS 56520 - 35065 RENNES Cedex
02 99 54 63 23 - www.aile.asso.fr - info@aile.asso.fr - [@aileagence](https://www.instagram.com/aileagence)