



INNOVATIONS POUR RENFORCER L'EFFICACITÉ DU BOIS-ENERGIE

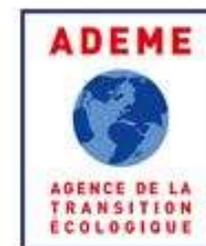
Solutions techniques et R&D pour le
collectif et l'industriel

13 octobre 2022
à LILLE

15e COLLOQUE



Avec le soutien de :



Région
Hauts-de-France

En partenariat avec :





La condensation à l'appui de l'essor du bois-énergie

Le jeudi 13 octobre 2022

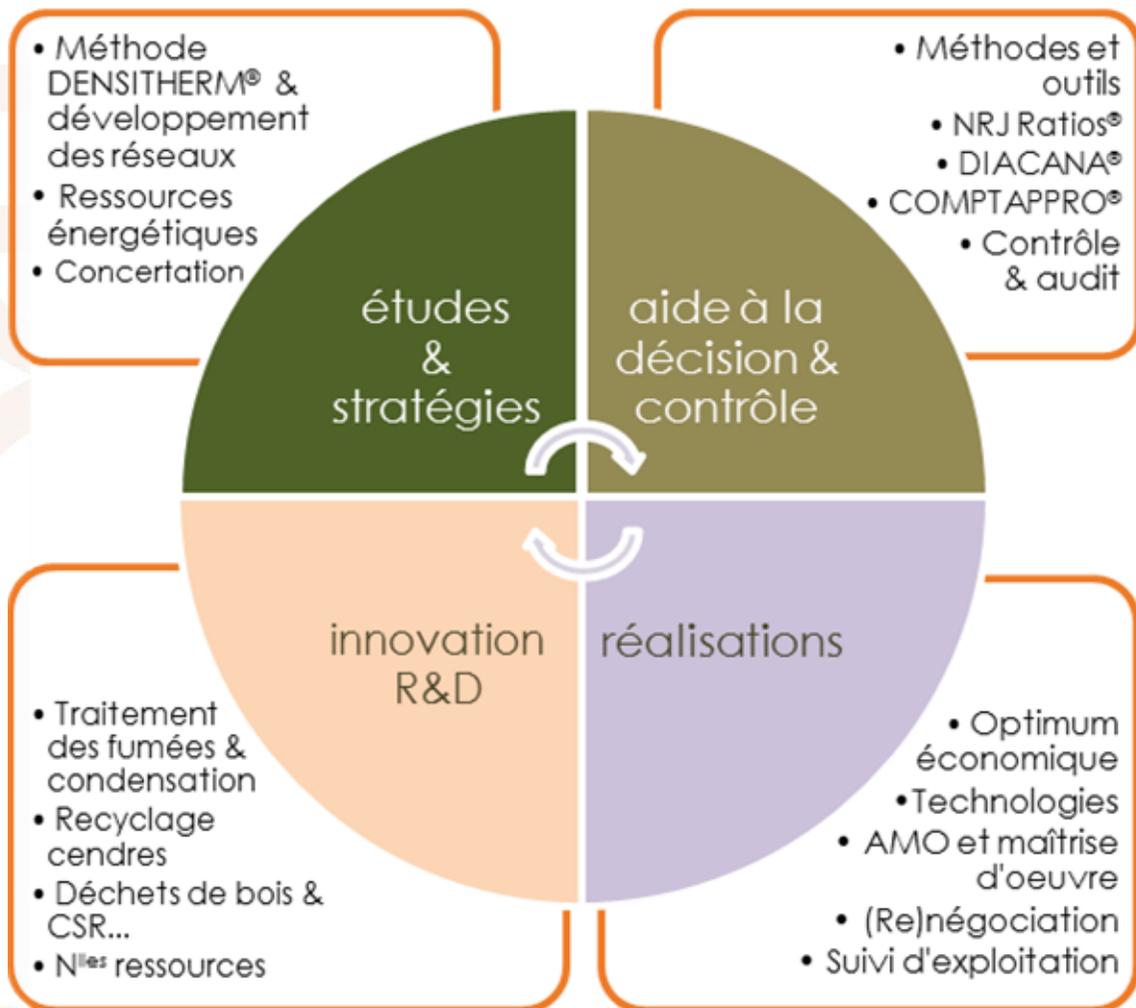
Guillaume DRIEU LA ROCHELLE

C E D E N
CABINET D'ÉTUDES SUR LES DÉCHETS ET L'ÉNERGIE

CEDEN

cabinet d'études
sur l'énergie et les déchets
créé en 2006

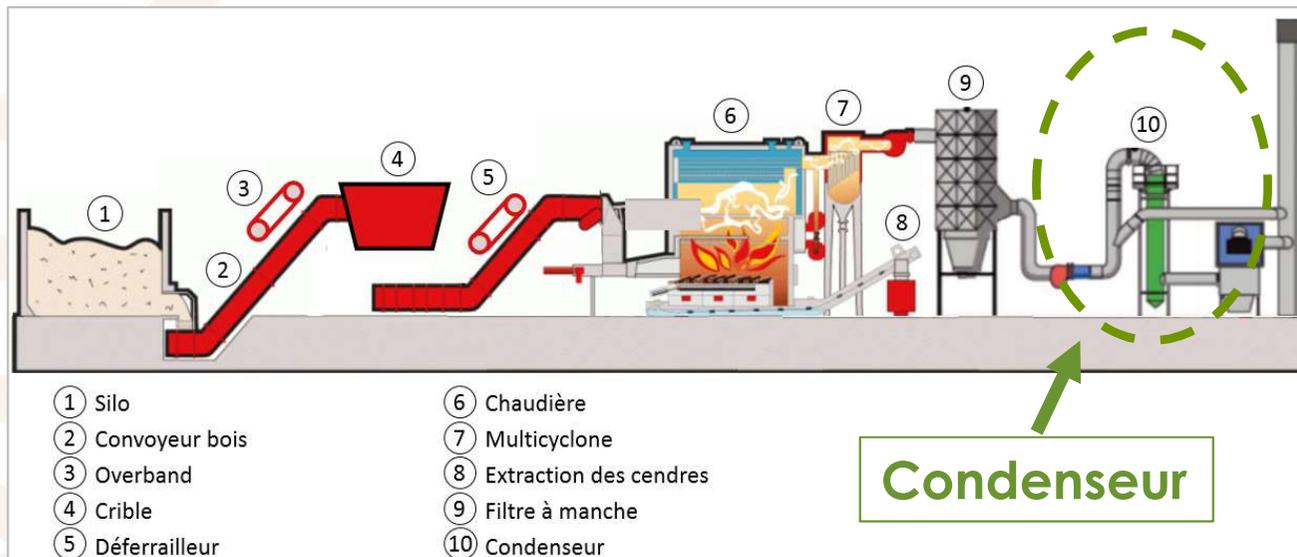
spécialisé dans la valorisation agro-
énergétique des ressources
naturelles



1. Une équipe pluridisciplinaire de **10 ingénieurs et techniciens.**
2. Notre rayon d'intervention : **Normandie, Île-de-France, Hauts de France, Pays de la Loire, Centre Val de Loire, Bretagne**, principalement.
3. Une extension de l'activité à l'**ensemble des énergies renouvelables thermiques** (biomasse, géothermie, combustibles solides de récupération, chaleur de récupération provenant de l'incinération ou issue des eaux usées, Data Center, solaire thermique et PAC...).
4. Une attention particulière accordée à l'**écoute** et à la **compréhension des besoins.**
5. Un **retour d'expérience** reconnu à l'échelle nationale.
6. Une **indépendance des opérateurs énergétiques.**



Résumé des épisodes précédents



Différentes technologies

- Voie sèche** (pas de contact fumées/eau)
- Voie humide (condenseur-laveur)**
 - Aspersions d'eau
 - Bain d'eau
- Utilisation ou non de **PAC**



Résumé des épisodes précédents

Quels enjeux ?

❑ Efficacité énergétique : +5 - 35%

- Humidité du combustible (cas optimal type : écorces en scierie)
- Température de retour du réseau (cas optimal : séchage, planchers chauffants, etc.)

➔ Raison principale des écarts de fonctionnement projet vs réel

- Présence d'un économiseur (~ température entrée des fumées)
Récupération maximale si récupération de chaleur sensible (+5-6 points)

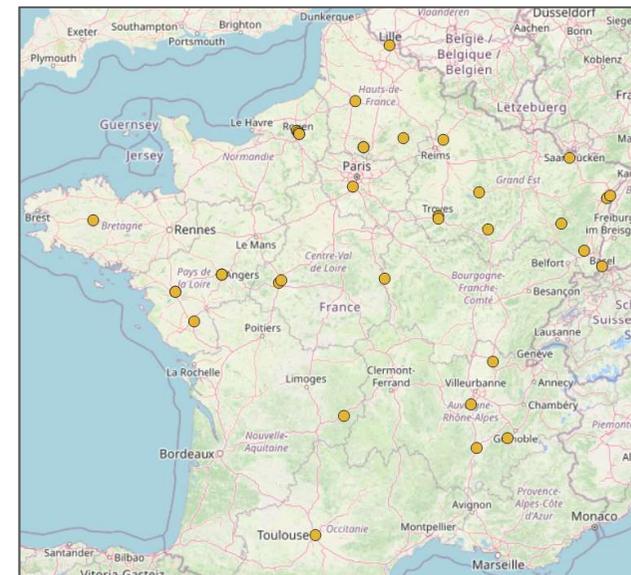
❑ Efficacité environnementale

- Captation des poussières
- Captation des polluants atmosphériques (SO_x, NO_x, etc.)
- Concerne principalement la technologie en voie humide

❑ Développement EnR&R sous contrainte (sans création de chaufferie)

Condensation biomasse en France

- ❑ ~ **40** appareils en fonctionnement
- ❑ Majoritairement **sur RCU (85%)**
- ❑ **Puissance** majoritairement **< 1 MW**
- ❑ **6-7 constructeurs** principaux



4 condenseurs étudiés

- ❑ Technologie
 - Voie sèche 2 installations
 - Condenseur-laveur 2 installations
- ❑ Pompe à chaleur 2 avec / 2 sans

Type d'instrumentation

- ❑ Supervision(s)
 - Exploitant
 - Automate chaudière
 - Automate condenseur
- ❑ Mesures fumées
 - Mesure type APAVE en continu
 - Température / Débits / Concentrations
 - Amont / Aval
- ❑ Mesures condensats
 - Concentrations
- ❑ Mesures combustible
 - Volume introduit (piston-poussoir)
 - PCI
 - Concentrations

Paramètres étudiés

- ❑ Energie
 - Chaleur prélevée
 - Chaleur restituée au RCU
 - Températures de fumées in/out
 - Hygrométrie combustible / fumées
 - Consommation électrique
- ❑ Environnementaux
 - Débit de fumées
 - Flux de poussières
 - Flux de NOx
 - Flux de SOx
 - Flux de HCl
- ❑ Economiques
 - CAPEX/OPEX
 - Impact sur le génie civil (bâtiment)
 - Impact sur l'emprise foncière



Enseignements – Emissions atmosphériques (1)

Poussières

VLE : 50 mg/Nm³
(1-20 MW)

Un impact différencié suivant la qualité de fumées entrantes

- ❑ Si présence d'un système de filtration complet avant condenseur → pas d'effet
- ❑ Sur des fumées non traitées, le condenseur permet un **abattement substantiel**
→ 250 mg/Nm³ à 50 mg/Nm³

Impact sur les NOx

VLE : 300 mg/Nm³
(1-20 MW)

Une efficacité liée à l'équilibre chimique du laveur :

- ❑ Fumées « propres » : pH acide (peu de particules captées) → **abattement faible (10%)**
Nécessite un ajout de réactif (soude) pour abattre substantiellement ce polluant
- ❑ Fumées riches en poussières : **abattement jusqu'à 30-35%** (essai sans électrofiltre)
- ❑ Autres technique : traitement aux UV



Impact sur les SOx

VLE : 200 mg/Nm³
(1-20 MW)

Bonne à très bonne captation suivant la qualité combustible

- ❑ Combustible **peu pollué** : entre **30 et 60% d'abattement**
Efficacité renforcée si température d'échange faible → PAC optimale
- ❑ Combustible **très pollué** : jusqu'à **95%** d'abattement
rejet équivalents à ceux d'un combustible non pollué

Impact sur les autres polluants

Des performances variables suivant la teneur du combustible

- ❑ **Métaux lourds** : Peu d'effet pour de la plaquette (hors Manganèse/Plomb/Mercure) mais effet important sur du bois pollué
- ❑ **HAP** : 10-30% d'abattement
- ❑ **HCl/HF** : Uniquement si capture de poussières ou ajout de réactifs (soude)



Enseignements – Energie

Température de retour

Comparaison par rapport à une « chaudière nue »

- | | |
|---|------------------------|
| <input type="checkbox"/> Economiseur simple ($T_{\text{fumées}} \sim 80^{\circ}\text{C}$) | + 5% rendement |
| <input type="checkbox"/> Condenseur avec retour à 50°C | + 10% rendement |
| <input type="checkbox"/> Condenseur avec PAC ($T_{\text{froid}} \sim 30^{\circ}\text{C}$) | + 16% rendement |

$T_{\text{fumées}} \sim 150^{\circ}\text{C}$
Humidité $\sim 40\%$

Consommation électrique PAC

Un COP variable suivant

- Les données du RCU
 - Régime de température départ / retour
 - Ratio entre la puissance condenseur et la puissance d'appel réseau
- La méthode de calcul
 - COP global (économiseur + condenseur + PAC) : **6 – 10**
 - COP PAC seule : **3 - 4**



Préconisation 1 : Optimiser sa PAC

Baisser les températures de retour

- ❑ **Séparer les retours** (si présence de différentes branches)
- ❑ **Pincements** en sous-station (échangeurs de type « géothermie », pincement de 1°C)
- ❑ Contrôle du débit via **vannes PICV** (éviter le sur-débit primaire)
- ❑ Optimiser les **secondaires** (mécanisme d'intéressement sur le tarif)

Retarder l'utilisation de la PAC

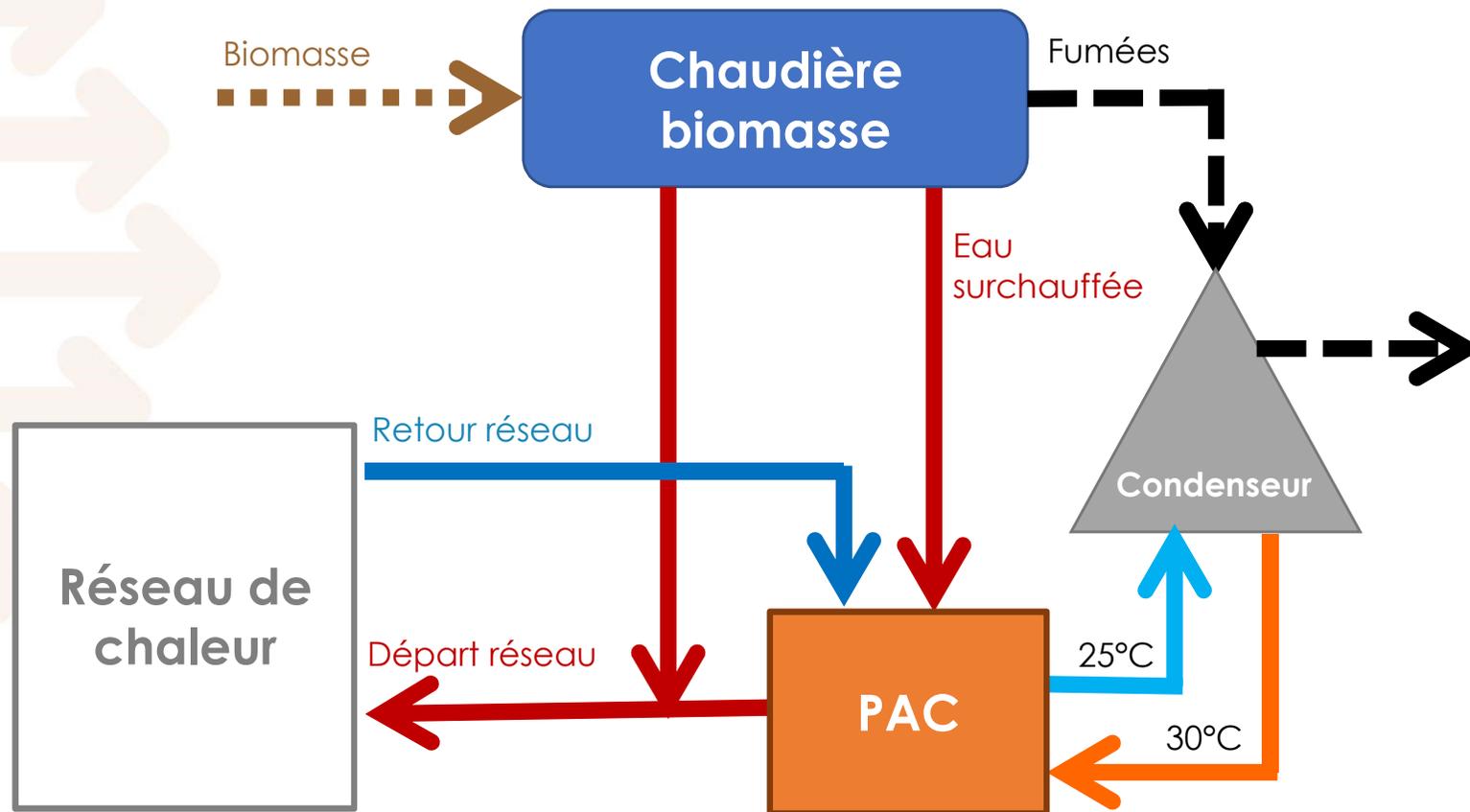
- ❑ **Intégrer systématiquement** un étage d'économiseur/condenseur sur le retour direct du réseau
- ❑ Abaisser au maximum la température des fumées avant le passage avec PAC, par exemple avec un double étage de condenseur

Technologie à absorption

- ❑ **Une PAC sans consommation d'électricité !**
- ❑ L'énergie nécessaire provient de la chaudière biomasse et est intégralement restituée au réseau
- ❑ **Difficulté** : pour les régime de températures de réseau actuels (60-90°C), nécessite une eau chaude HP (170-180°C) ➡ **surcoût achat/maintenance chaudière**



Focus PAC absorption



Un mode de développement récent :

- ❑ Peu d'exemples en France
 - Applications en UVE sur aérocondenseurs (Nantes, Bordeaux)
 - Plusieurs projets sur les rails
- ❑ Une application en fonctionnement en Hollande



Préconisation 2 : Simplifier le traitement des fumées

Remplacement/réduction des systèmes de filtration

Optimisation lors de la conception de chaufferie

- ❑ Emprise d'un FAM pour chaudière de 20 MW : (20 x 10 m)
- ❑ **Contraintes** : Nécessité de traitement de l'eau pour éliminer le COT (sédimentation)



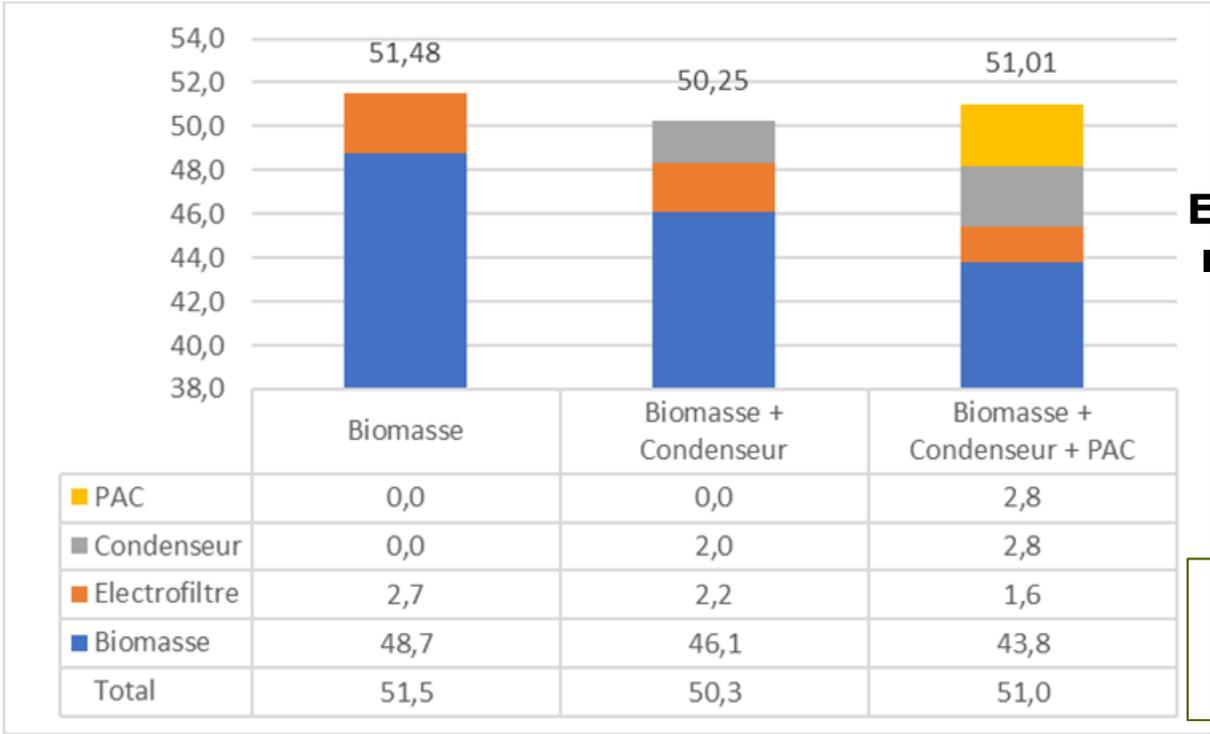
Cas d'usage 1 : Mise aux normes d'une chaufferie

Modification de la chaufferie par ajout d'un filtre à manche

- ❑ Puissance chaudière +12%
- ❑ Electrofiltre + 100%

Modification de la chaufferie par ajout d'un condenseur

- ❑ Condenseur + PAC
- ❑ Consommation électrique



Estimation du coût de revient de la chaleur (€ HT/MWh)

Gain de 0,5 à 1,5 €HT/MWh (référence 2021)



Cas d'usage 2 : Développement d'un réseau

Ajout d'une nouvelle chaufferie

- ❑ Meilleur **taux EnR&R**
(100% vs 85%)
- ❑ S'adapte à la **taille de l'extension**
(pas de limite de puissance)
- ❑ Coût de revient : **51,5 € HT/MWh**

Ajout d'un condenseur

- ❑ **Emprise foncière** limitée (pas de nouveau terrain)
- ❑ **Libère de la ressource biomasse** pour d'autres usages
- ❑ Moins de **rejets atmosphériques**
 - Moins de combustibles, donc moins de polluants
 - Meilleur traitement des fumées
- ❑ Coût de revient : **40,0 € HT/MWh**

**Gain de
10 €HT/MWh
(référence 2021)**



Déchets de bois

- ❑ Combustible moins onéreux, mais nécessitant un **traitement des fumées lourd**

- ❑ Impact de la rubrique 3520/a (arrêté du 12 janvier 2021)
 - Poussières 5 mg/Nm³ @11% O₂
 - NO_x 80 mg/Nm³ @11% O₂
 - SO_x 30 mg/Nm³ @11% O

- ❑ Réduction de la part d'achat de réactifs via une **meilleure captation**

- ❑ **Traitement des condensats** à considérer.

- ❑ Combiner **efficacité énergétique & efficacité environnementale**





Merci de votre attention !



46 rue Raoul Gloria, 76230 BOIS-GUILLAUME
S.A.R.L. au capital de 53 500 €uros
RCS Rouen 488524919