



Crédit photo :
Bioénergie International



Crédit photo : Courrier Picard

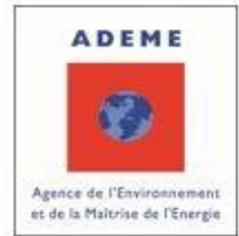


CIBE



Journée technique

le jeudi 25 octobre 2018
à AMIENS - ÉTOUVIE (80)

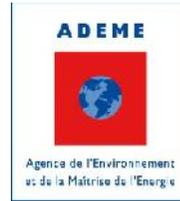


**Chaufferie biomasse et écart de température
d'eau : les solutions de la performance**

**Contexte, solutions, impacts, bonnes pratiques,
exemples d'installations**

Dominique Plumail, Directeur du CEDEN (Cabinet d'Etudes sur les Déchets et l'Energie)





Chaufferie biomasse et écart de température d'eau : les solutions de la performance

Le jeudi *25 octobre 2018* à Amiens (Etouvie)

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

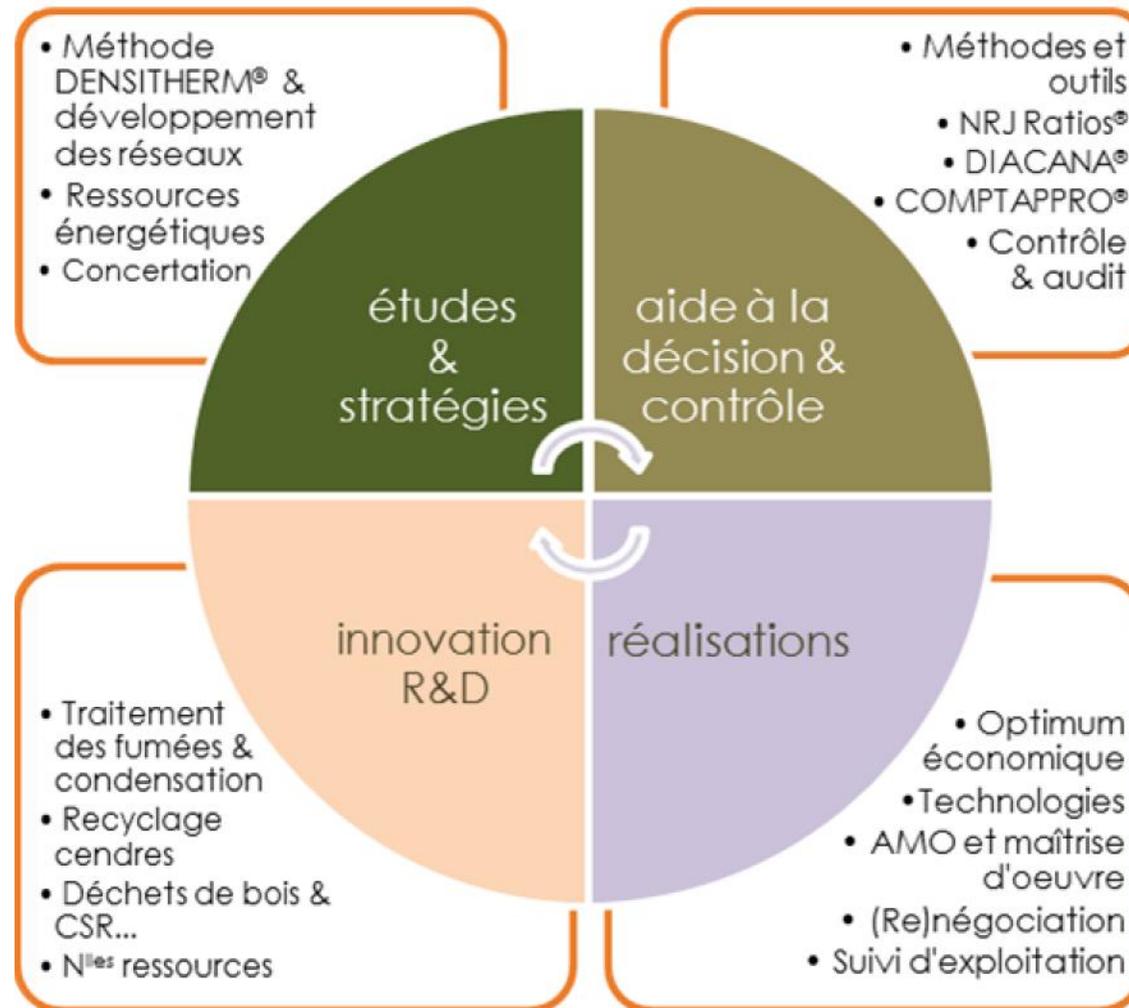




CEDEN

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

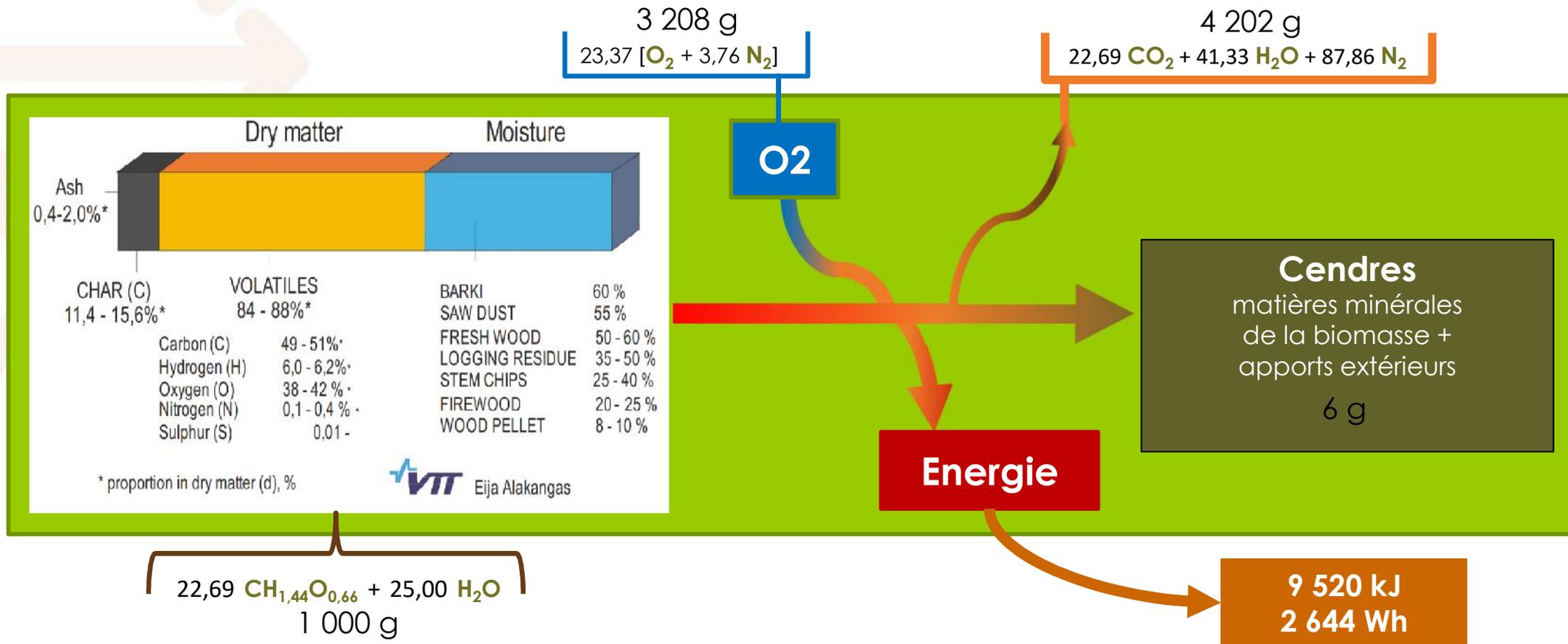
Spécialisé dans la valorisation agro-énergétique des ressources naturelles





Le contenu énergétique est proportionnel à la quantité et à la qualité de la matière organique de la biomasse

La stœchiométrie de la combustion du bois (humidité : 45% - = 1)



L'énergie du combustible bois est en premier lieu employée pour vaporiser l'eau qu'il contient



Les enjeux de la performance

Obtenir le maximum d'énergie valorisable contenue dans le combustible bois

Optimiser les charges d'exploitation (réduction des frais d'entretien et de renouvellement)

Les solutions et bonnes pratiques :

- La maîtrise des conditions de combustion
- Le rôle de l'hydro-accumulation (thermo-stockage de la chaleur)
- La récupération de la chaleur sensible et de la chaleur latente

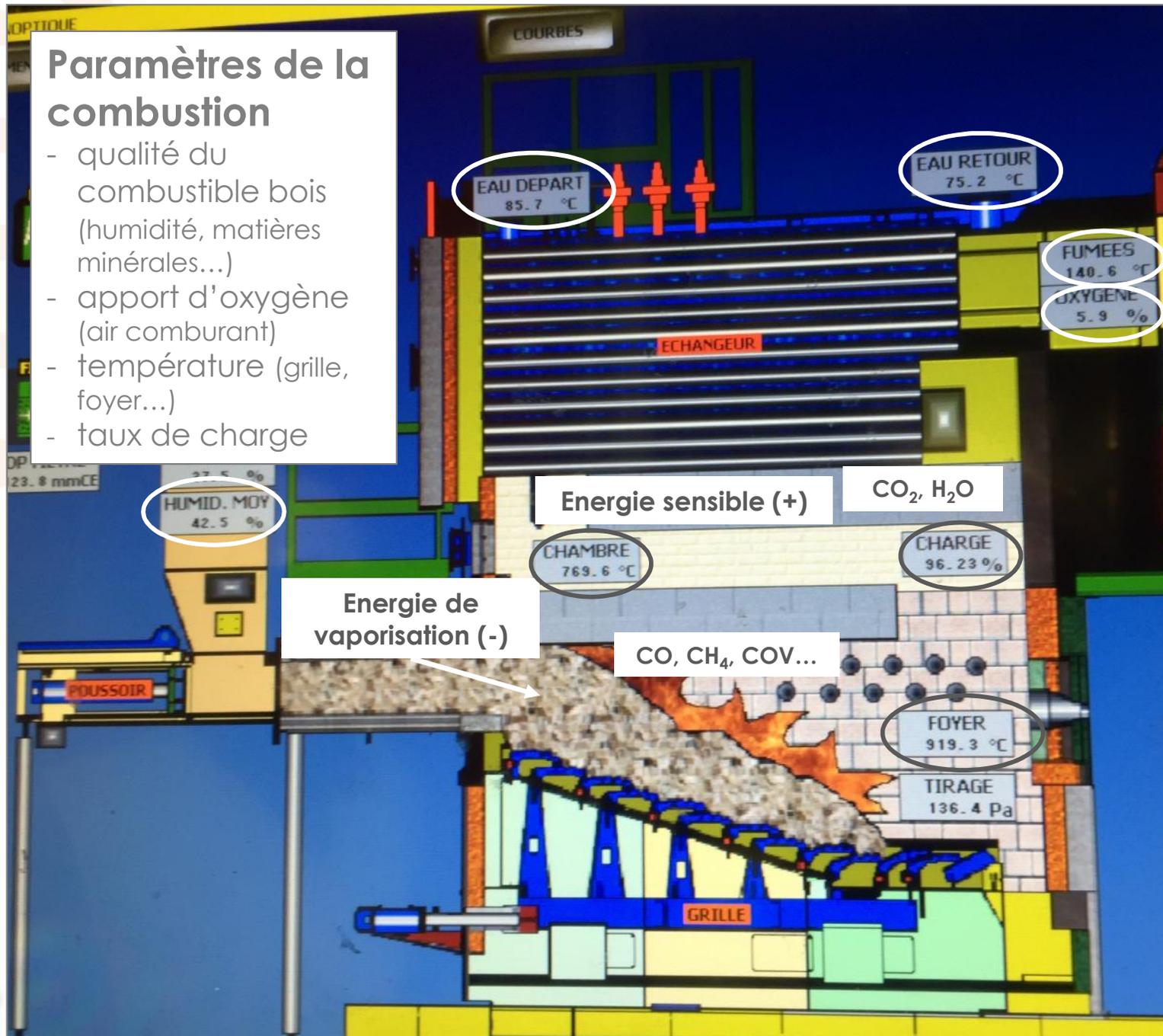




La maîtrise des conditions de combustion

Paramètres de la combustion

- qualité du combustible bois (humidité, matières minérales...)
- apport d'oxygène (air comburant)
- température (grille, foyer...)
- taux de charge





Les fluides caloporteurs : vecteurs du transfert

L'énergie est transférée à un fluide caloporteur, dont le capacité calorifique fluctue :

- **Eau** $4,199 \text{ kJ/kg.K}^{-1}$ (25 °C - 1 atm)
réseau de chaleur, chauffage, eau chaude sanitaire
- **Vapeur d'eau** $2,005 \text{ kJ/kg .K}^{-1}$ (120 °C - 1 bar)
process industriel, production d'électricité
- **Huile thermique** $2,120 \text{ kJ/kg .K}^{-1}$ (90 °C - 1 atm)
(AVIA Thermofluid S, BP Olex, Diphyl, ...)
process industriel, production d'électricité

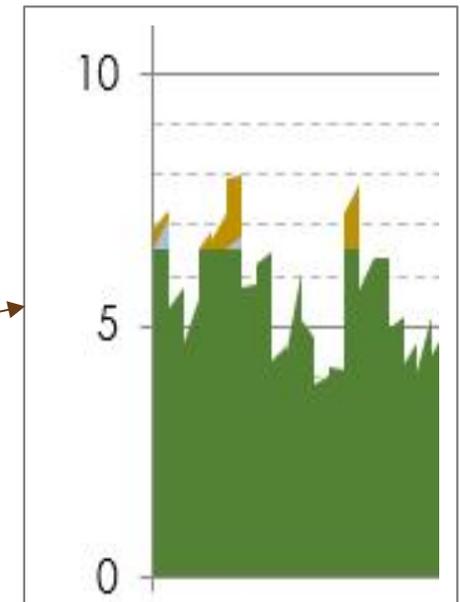
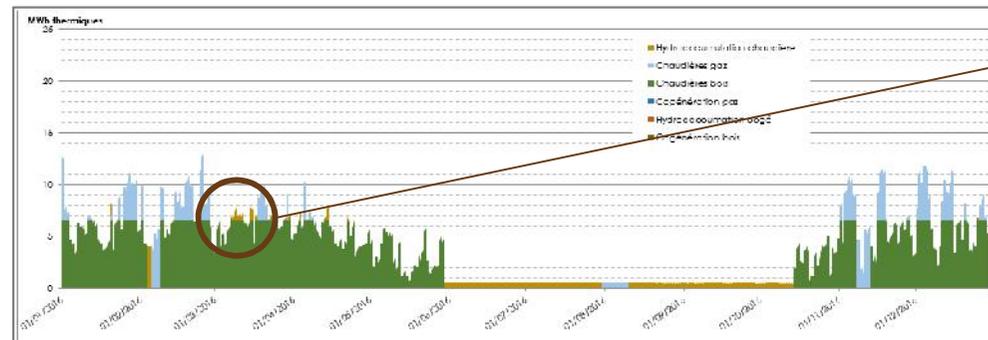
	AVANTAGES
Eau	Capacité calorifique supérieure à celle de la plupart des autres substances
Vapeur d'eau	Température plus élevée pour alimenter les process
Huile thermique	Permet d'éviter le gel, la corrosion, l'oxydation. Peut atteindre 350 °C en phase liquide



L'hydro-accumulation : une 1^{ère} optimisation

L'hydro-accumulation a pour objectif de stocker de l'énergie dans la perspective de l'utiliser plus tard :

- La régulation est complexe et différente en fonction des saisons
- Le stockage est aussi un moyen de réduire les conséquences des pics d'appel de puissance
- Elle permet surtout d'augmenter le taux de couverture des besoins sur les réseaux de chaleur urbains



Lorsque les besoins sont inférieurs à la puissance maximale du générateur, le ballon se charge :

- période nocturne en demi-saison
- période nocturne et diurne en été

Lorsque les besoins sont supérieurs à la puissance maximale du générateur, le ballon se décharge.



La récupération de chaleur dans les fumées

Il existe différentes manières de récupérer la chaleur des fumées :

- L'Economiseur (récupération de la chaleur sensible)
- Le Condenseur (récupération de la chaleur latente). La chaleur récupérée peut être utilisée pour préchauffer l'eau de la chaudière ou bien l'air de combustion. Le condenseur a également une action sur la capture des polluants atmosphérique, ce qui va nécessiter un traitement des condensats avant rejet à l'égout.

Le condenseur par voie sèche procède à un échange de chaleur indirect, tandis que le condenseur par voie humide lave les fumées par échange de chaleur direct.

- voie humide (Compte – R, Condens Heat Recovery Oy, CALIGO, TERRAO...)
- voie sèche (Scheuch GmbH, Airec AB, ...)

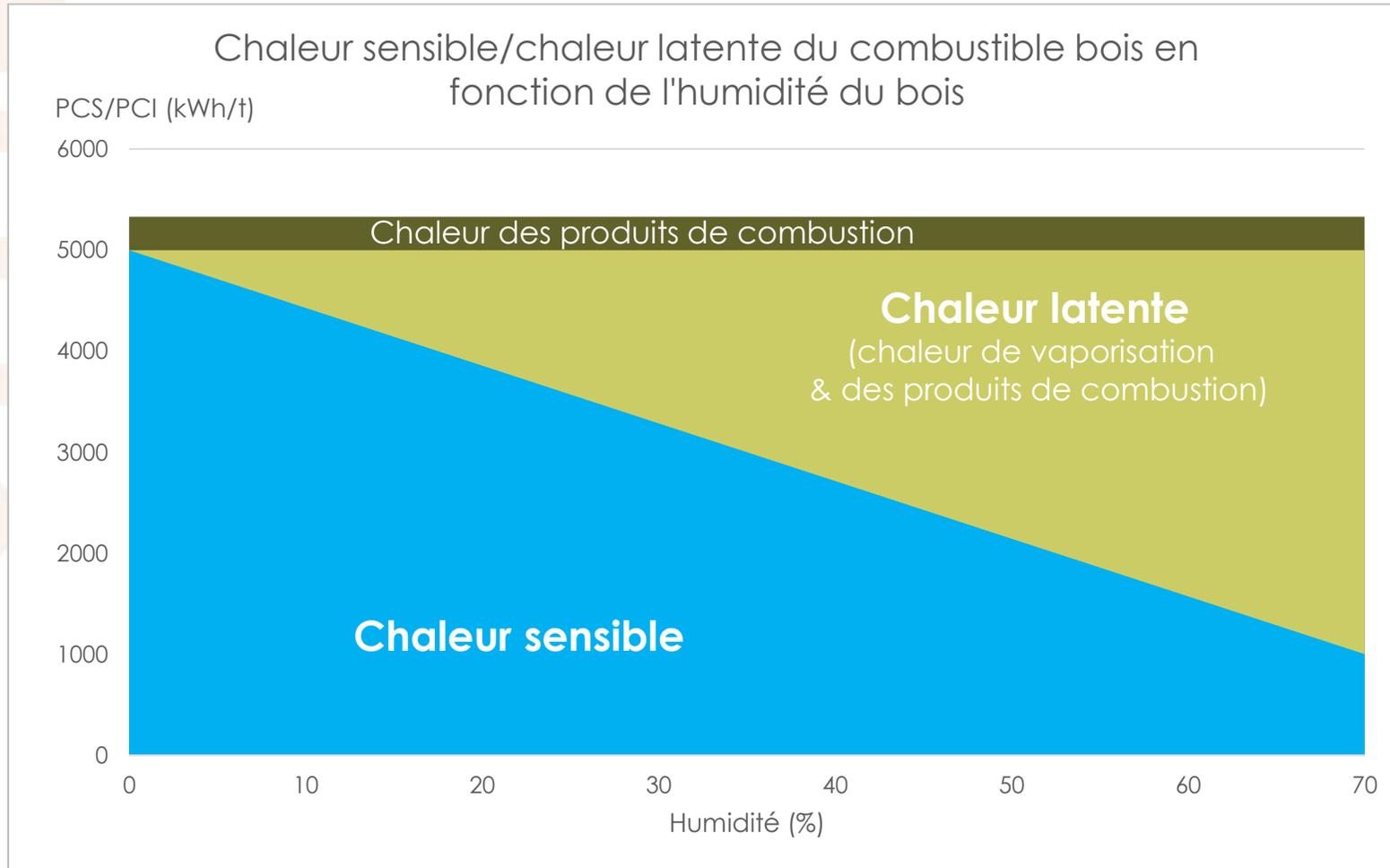
Les paramètres impactant la condensation sont :

- Le taux d' O_2 (qualité de la combustion)
- Le taux d'humidité du bois (qualité du combustible)
- La température de retour du réseau (qualité de la distribution de chaleur)





La récupération de chaleur dans les fumées



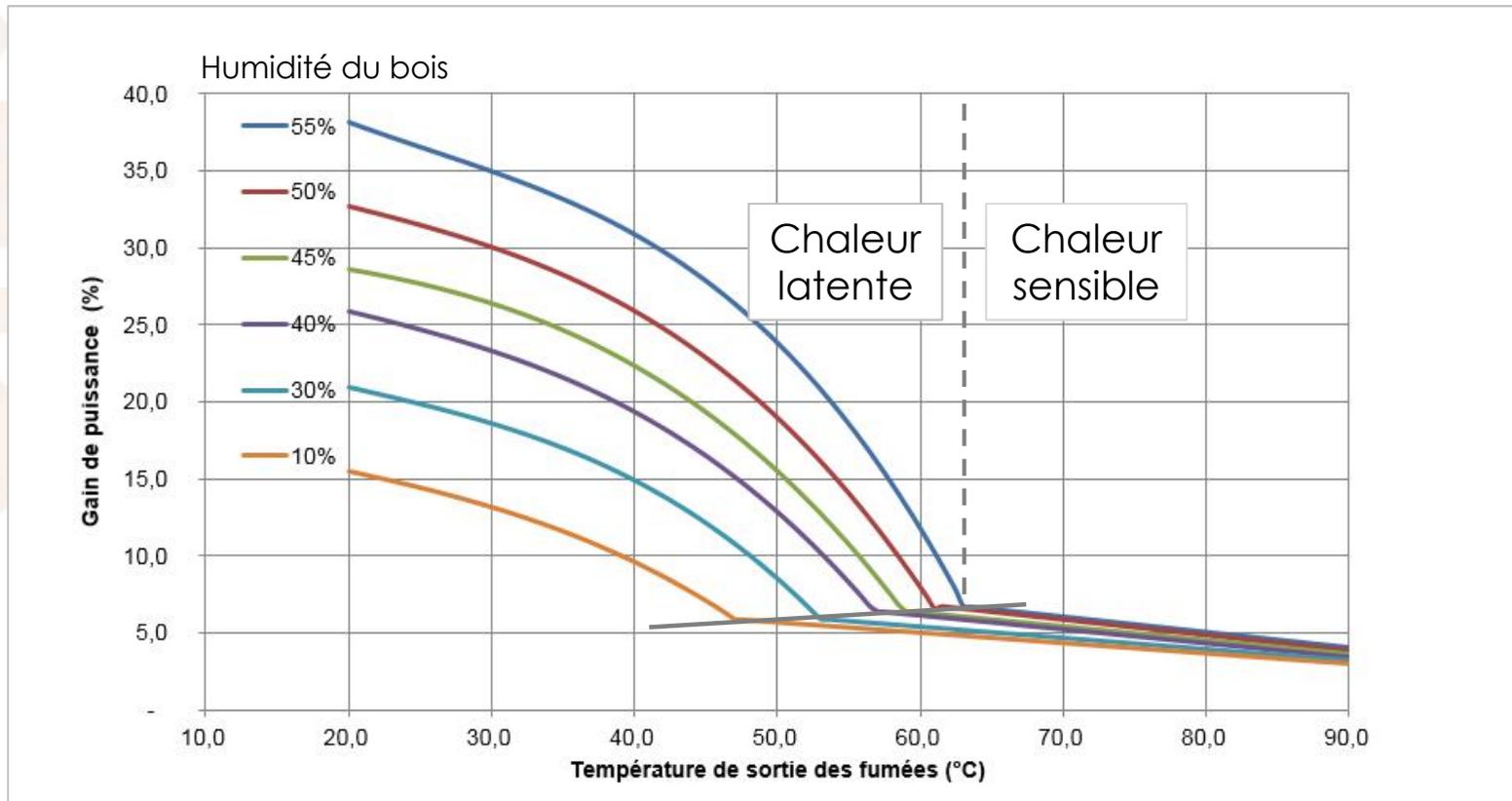
Plus le bois est humide, plus l'énergie disponible pour réchauffer le fluide caloporteur est faible.

La récupération de chaleur latente devient un moyen d'optimiser les process





La récupération de chaleur dans les fumées



Plus l'**humidité du bois** est forte, plus le **point de rosée** est élevé :

- Pour une humidité de 50 % : $T_{\text{rosée}} = 61 \text{ °C}$
- Pour une humidité de 30 % : $T_{\text{rosée}} = 54 \text{ °C}$
- Pour une humidité de 10 % : $T_{\text{rosée}} = 47 \text{ °C}$

Avec des retours froids, le **gain de puissance** grâce à la condensation peut atteindre **de 15 à 25%**, mais selon les contextes, pouvant dépasser les 30-35%



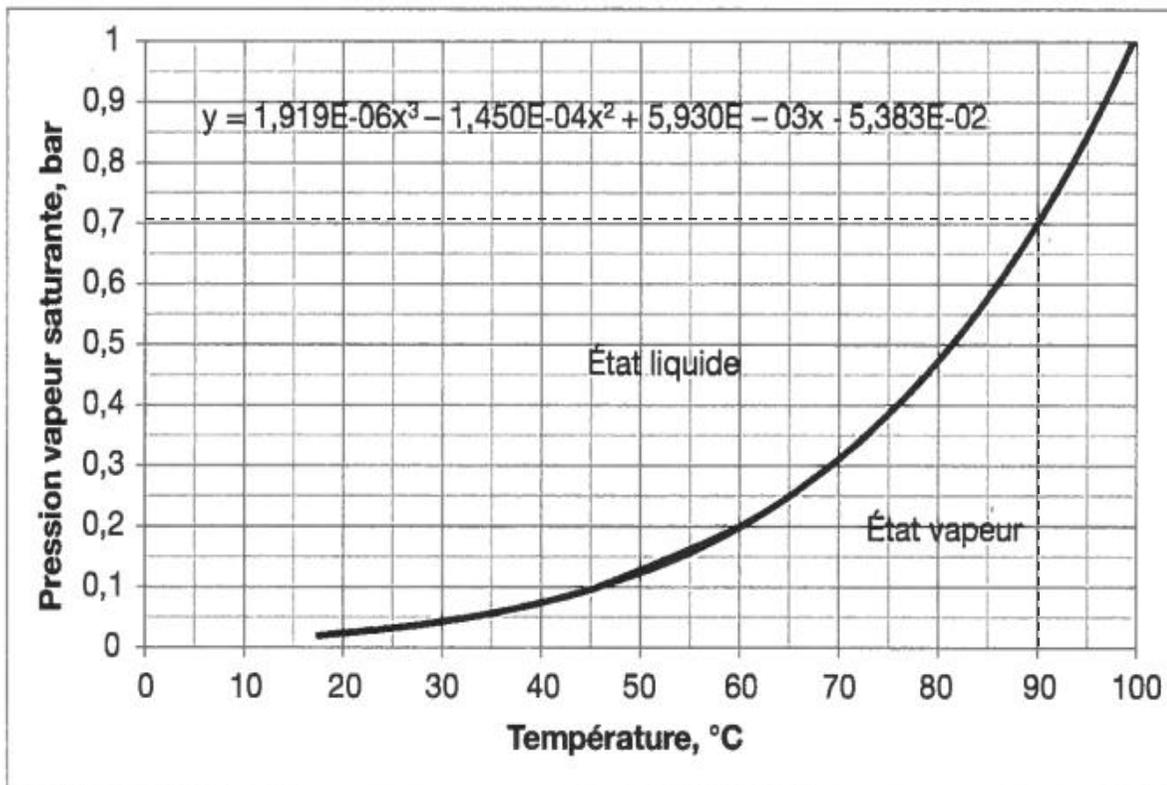


La récupération de chaleur dans les fumées

Si la température des fumées ou la température de retour est trop haute, on risque de ne pas pouvoir récupérer la chaleur latente.

Pour abaisser la température de retour d'un réseau, on peut réduire le débit des pompes de distribution. Mais si le débit est trop faible, un risque de vaporisation est présent.

Par exemple : à 0,7 bar, si on atteint 90 °C un changement d'état se produit.



Une attention particulière doit être apportée à la pression pour ne pas atteindre les limites de la vaporisation de l'eau.



Instrumentation d'un condenseur et optimisation

Enjeux et objectifs

- Récupérer la chaleur latente pour atteindre un rendement global de production de 100%
- Optimiser le fonctionnement d'un condenseur

Moyens et méthodes

- Instrumentation des installations
- 1^{ère} campagne de suivi (avril 2018)
- Analyses des résultats et identification des points d'amélioration
- Modification des réglages de l'installation
- 2^{ème} campagne de suivi (octobre / novembre 2018)

Caractéristiques des installations

- Chaufferie biomasse de 14 MW (1x6 MW + 1x8 MW)
- Condenseur pouvant fonctionner sur l'une ou l'autre des chaudières
- Réseau composé de 4 branches, dont une « basse température » desservant des logements (sans ECS) et une école. Ce réseau irrigue le condenseur ($T_{\text{aller}} : 65 \text{ °C} / T_{\text{retour}} : 50 \text{ °C}$)
- Pompe réseau : 37 kW / débit : 140 m³/h

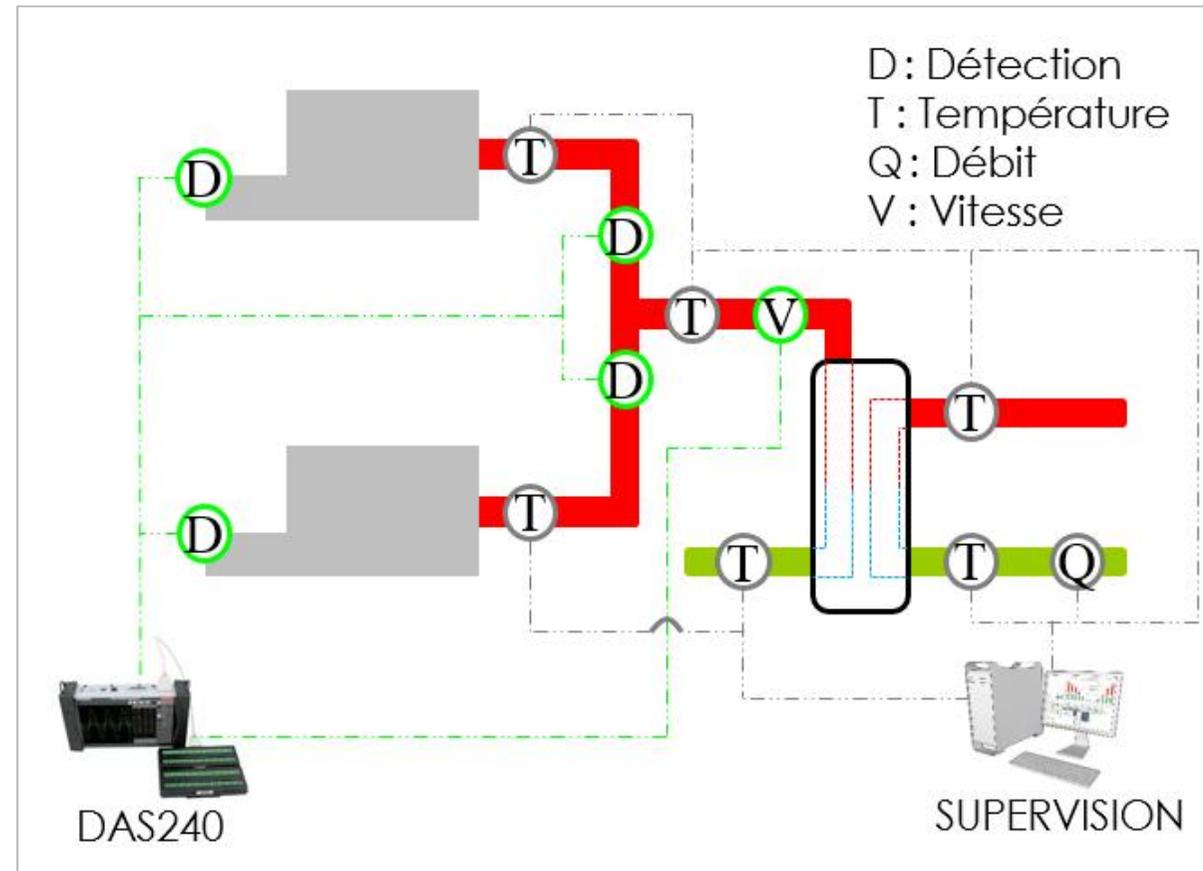




Instrumentation d'un condenseur et optimisation

La récupération des données se fait sous deux formes

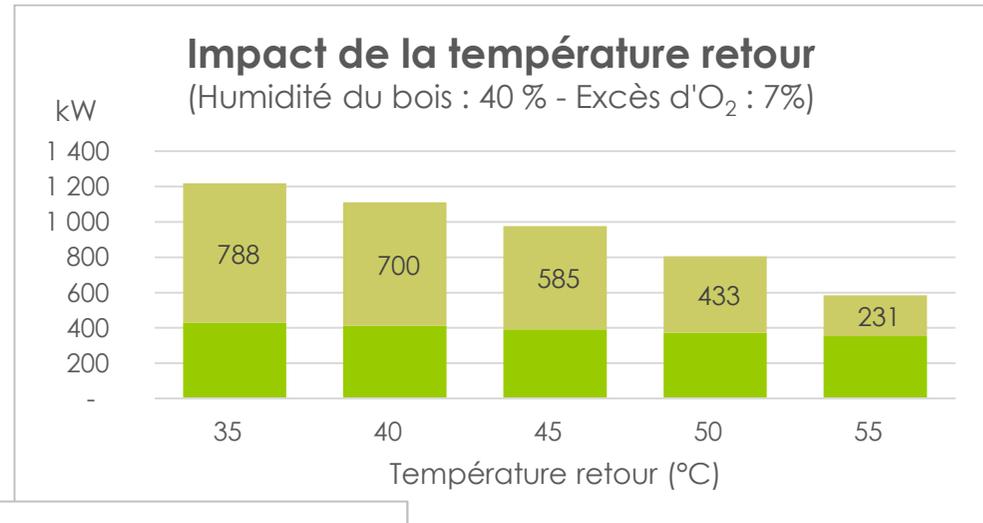
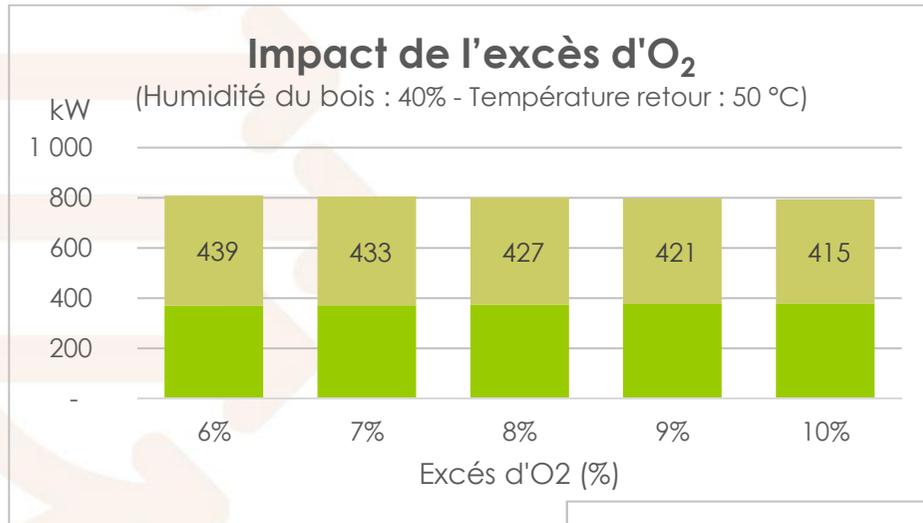
- Supervision de l'installation
 - Températures
 - Compteurs
 - Débit réseau
 - Taux d'O₂
- Suivi de la qualité de l'humidité du combustible
- Centrale d'acquisition des données (DAS240)
 - Positions des vannes
 - Vitesse des fumées
 - Pistons poussoirs



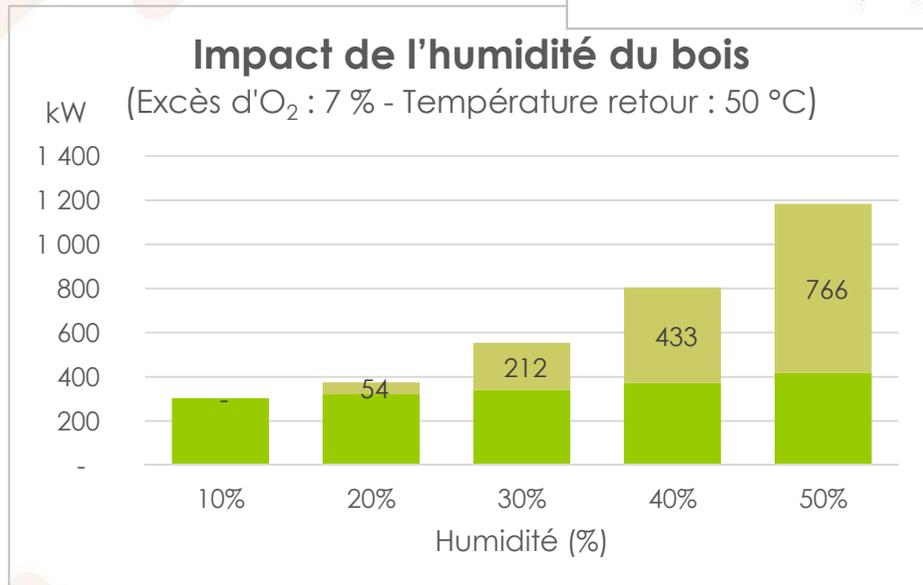


Instrumentation d'un condenseur et optimisation

Les principaux paramètres influençant la puissance de condensation



■ Chaleur latente (kW) ■ Chaleur sensible (kW)



Le **condenseur récupère d'abord la chaleur sensible** des fumées, soit dans notre cas, **de l'ordre de 350 kW**

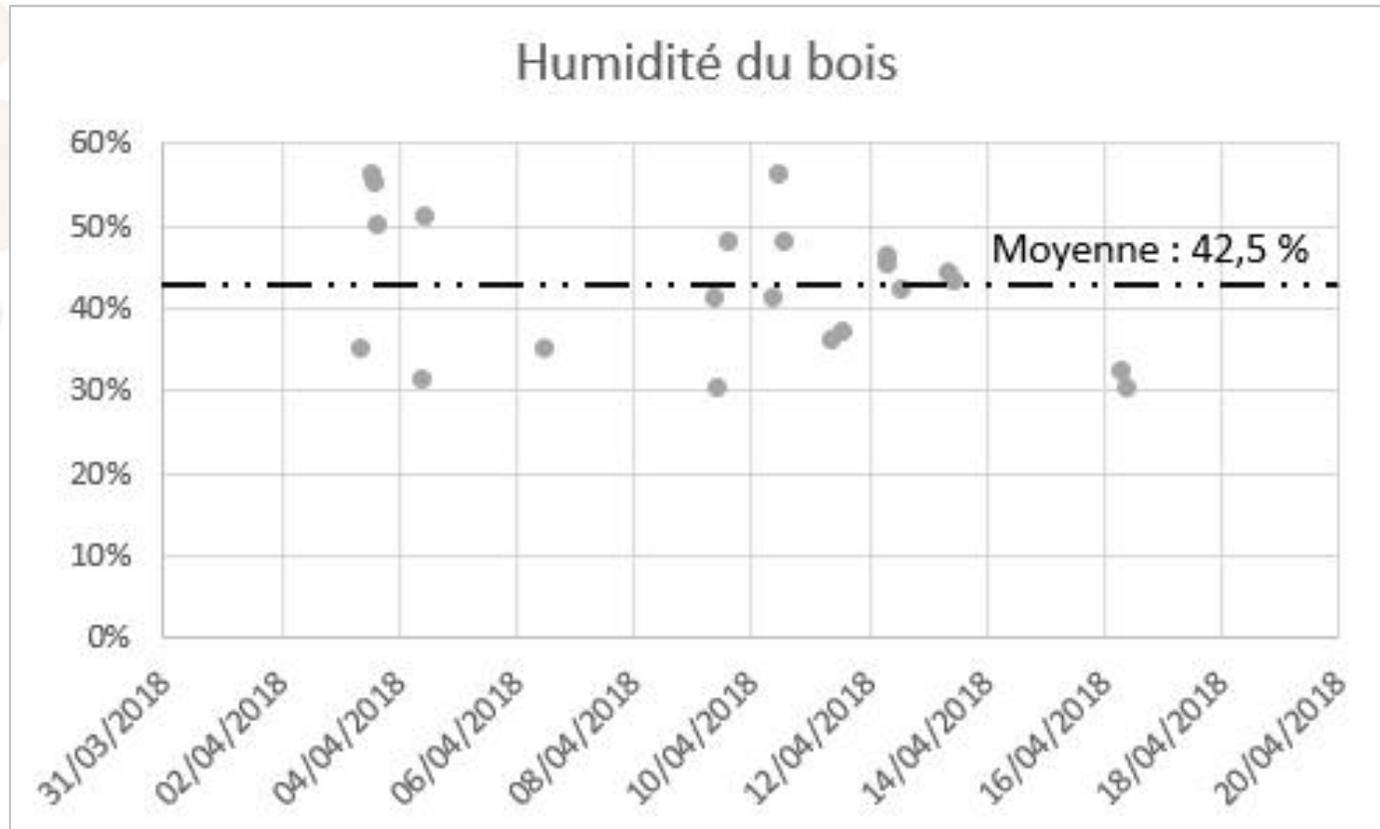
L'**O₂** impacte peu la récupération de chaleur.

L'**humidité** et la **température de retour** sont plus importantes.



Instrumentation d'un condenseur et optimisation

L'évolution de l'humidité du bois



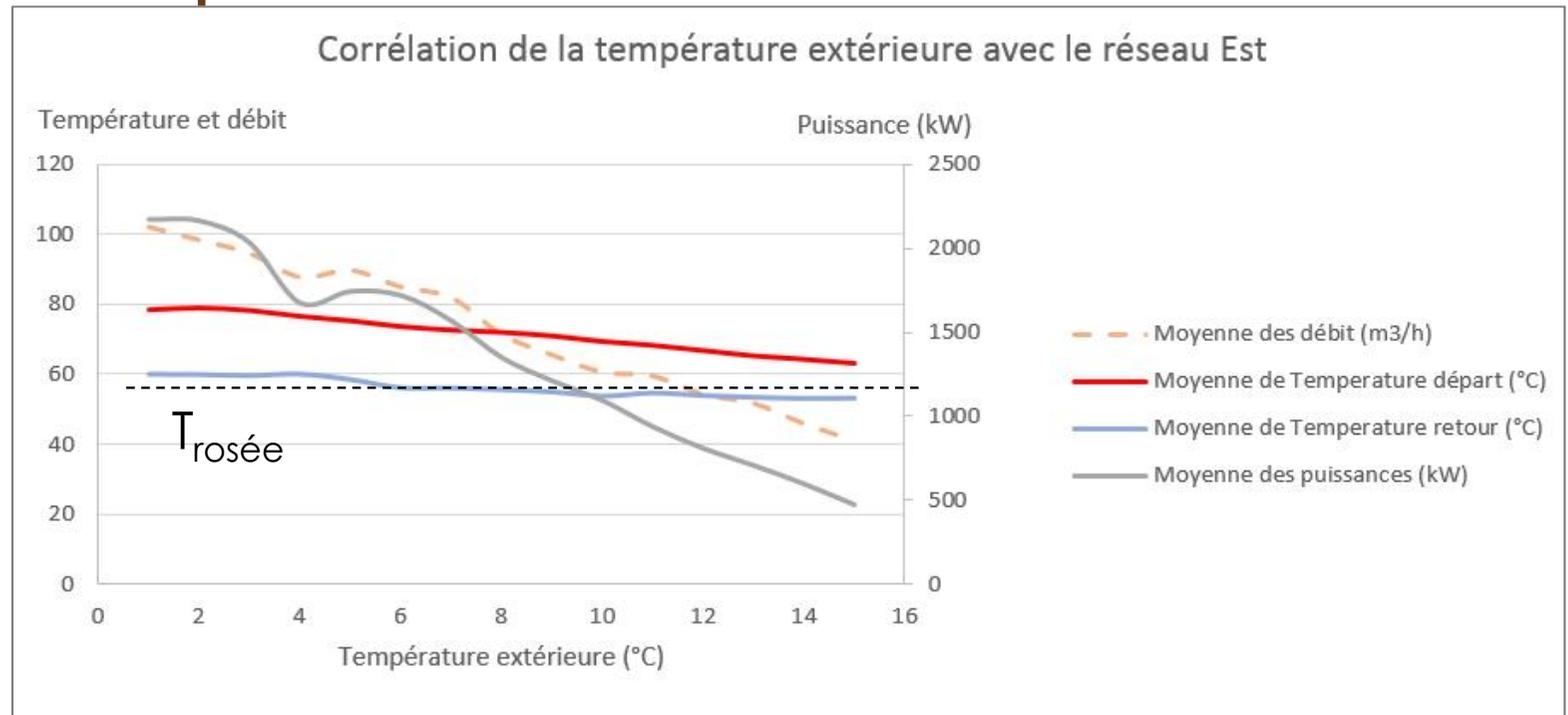
L'**axe de travail** porte en priorité sur les retours, dont la température autoriserait une meilleure condensation et permettrait d'optimiser la récupération de chaleur latente.





Instrumentation d'un condenseur et optimisation

L'évolution des températures des retours



Pour une **humidité du bois** de **42,5 %**, le **point de rosée est de 57 °C**.

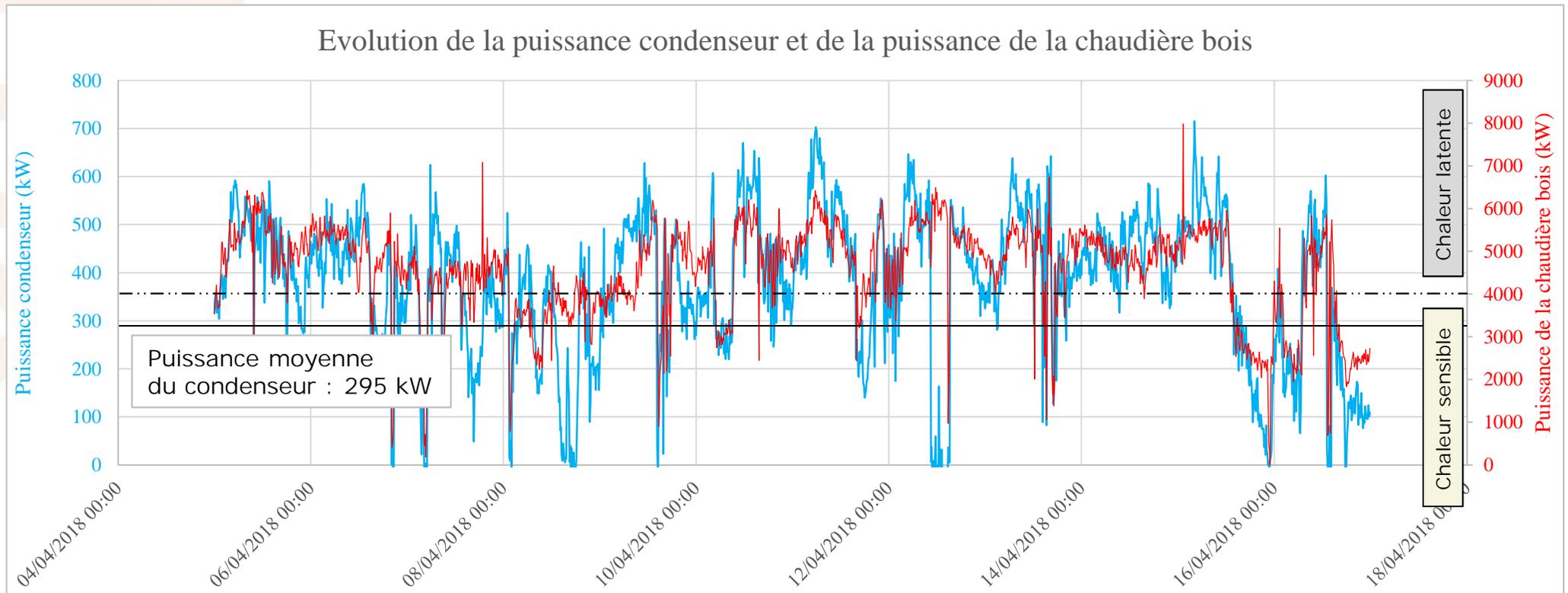
Les retours sont souvent trop chauds pour condenser. L'enjeu premier est d'abaisser la température des retours du réseau de chaleur.

Un suivi des sous-stations a été entrepris pour vérifier si une optimisation est envisageable.



Instrumentation d'un condenseur et optimisation

La situation initiale

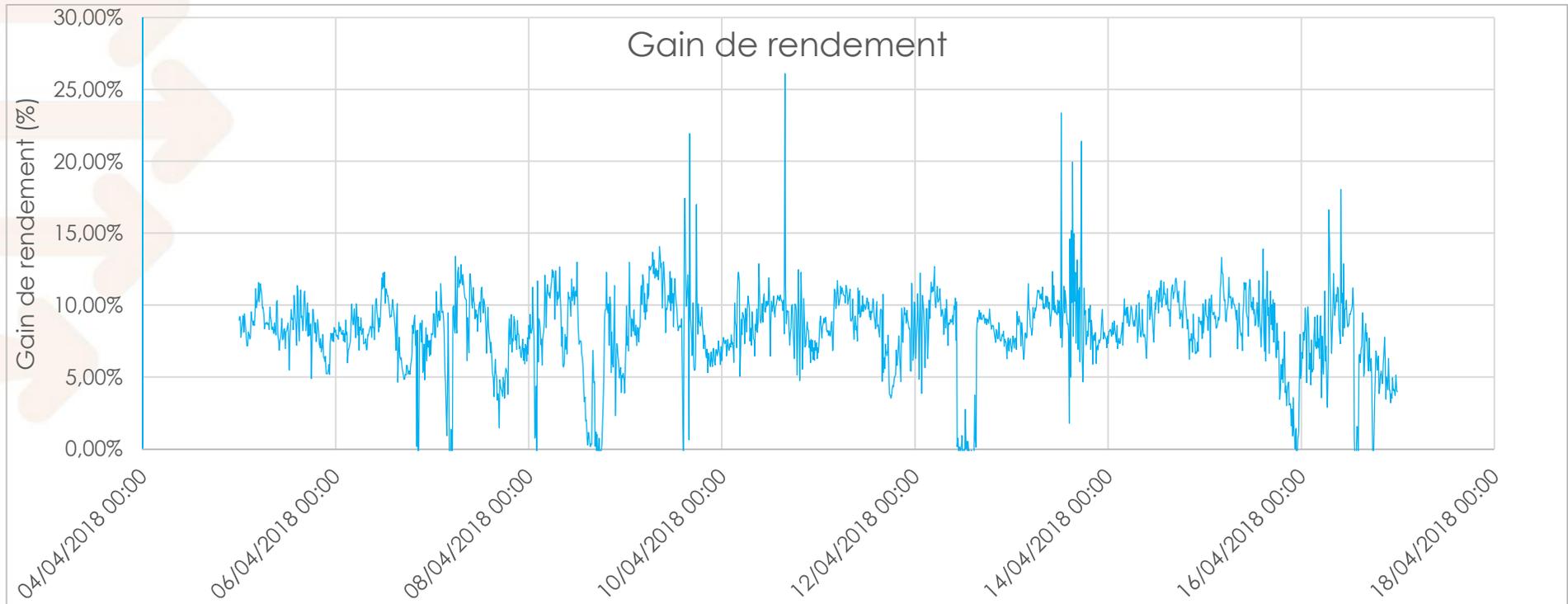


La puissance de récupération suit globalement l'évolution de la puissance de la chaudière biomasse
Le condenseur atteint la **puissance moyenne de 295 kW**, mais cette dernière a atteint 700 kW à certaine période



Instrumentation d'un condenseur et optimisation

La situation initiale



Le rendement de la chaudière bois durant l'essai était de 78,7% (puissance moyenne de 4,45 MW, soit un taux de charge de 74%)

Le gain de rendement atteint en moyenne 6,6 %, mais cette dernière a atteint plus de 20 % à certaine période





Instrumentation d'un condenseur et optimisation

N° SST	Type	Nombre	m ²	m ² /log	P installée (kW)		
					total	par log.	par m ²
50	Logements	170	11 280	66,4	1 570	9,2	0,14
40	Logements	199	13 080	65,7	1 420	7,1	0,11
30	Logements	170	11 480	67,5	1 520	8,9	0,13
20	Ecole	-	4 662	-	610	-	0,13
10	Logements	153	11 500	75,2	1 150	7,5	0,10

Les sous-stations étant anciennes, aucun télérelève n'est possible.

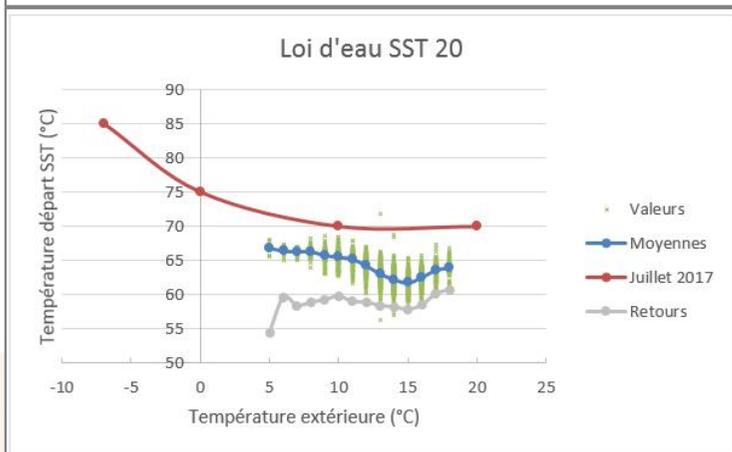
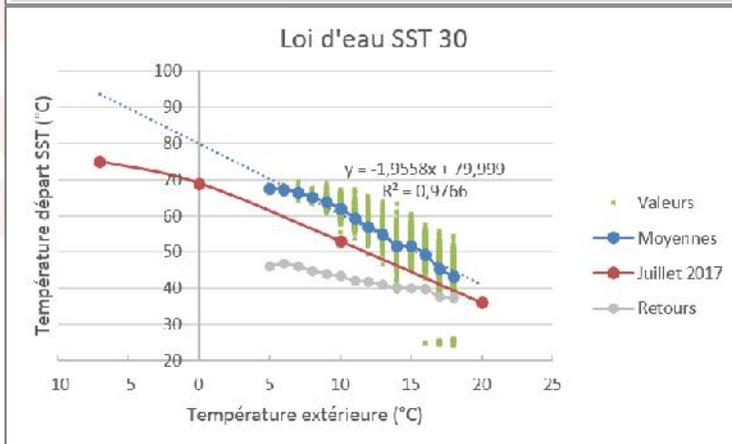
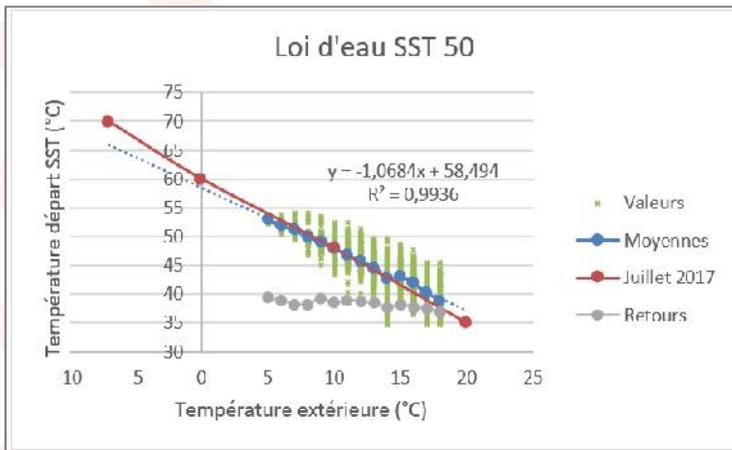
L'exploitant ne récupérant pas les données de comptage de la chaleur (débit et températures) sur la supervision, les installations secondaires ont été instrumentées afin d'observer le comportement des bâtiments.

Dans la 2^{nde} campagne de suivi, les températures seront suivies côté primaire.





Instrumentation d'un condenseur et optimisation



Le suivi expérimental permet de matérialiser la loi d'eau, le graphique illustre un bon fonctionnement de la régulation.

- La température « aller » évolue de 70 à 40°C selon la température extérieure
- La température « retour » diminue légèrement de 40 à 35 °C (par 18°C à l'extérieur)

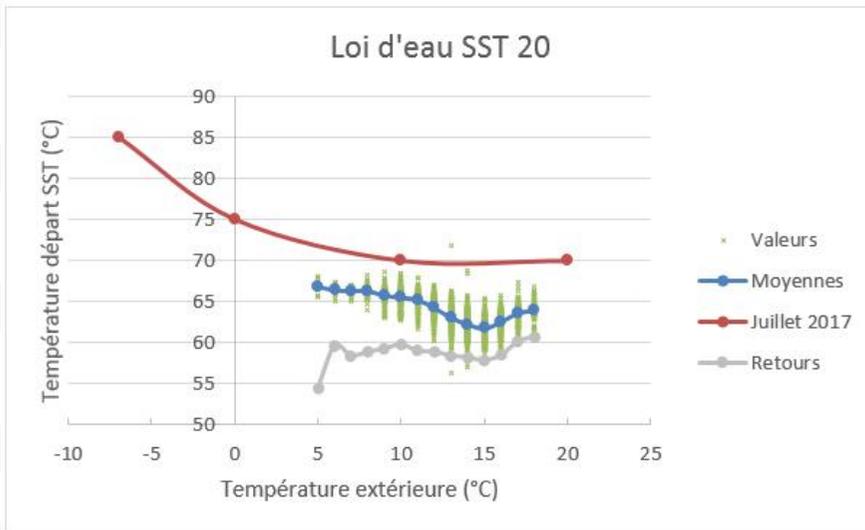
L'analyse montre un écart avec la loi d'eau initial. Une redéfinition des paramètres de la sous-station semble nécessaire afin d'abaisser les températures « aller » et « retour ».

L'école possède une production ECS. Une production instantanée permettrait une optimisation des températures « retour ».

Notons que les besoins en ECS sont modestes et ne devrait pas perturber les températures « retour » du réseau de chaleur.



Instrumentation d'un condenseur et optimisation



L'école possède une production ECS. Une production en instantanée permettra une meilleure optimisation des températures de retours.

Notons que les besoins en ECS sont modestes dans une école et ne devrait pas perturber à ce point les températures retour.

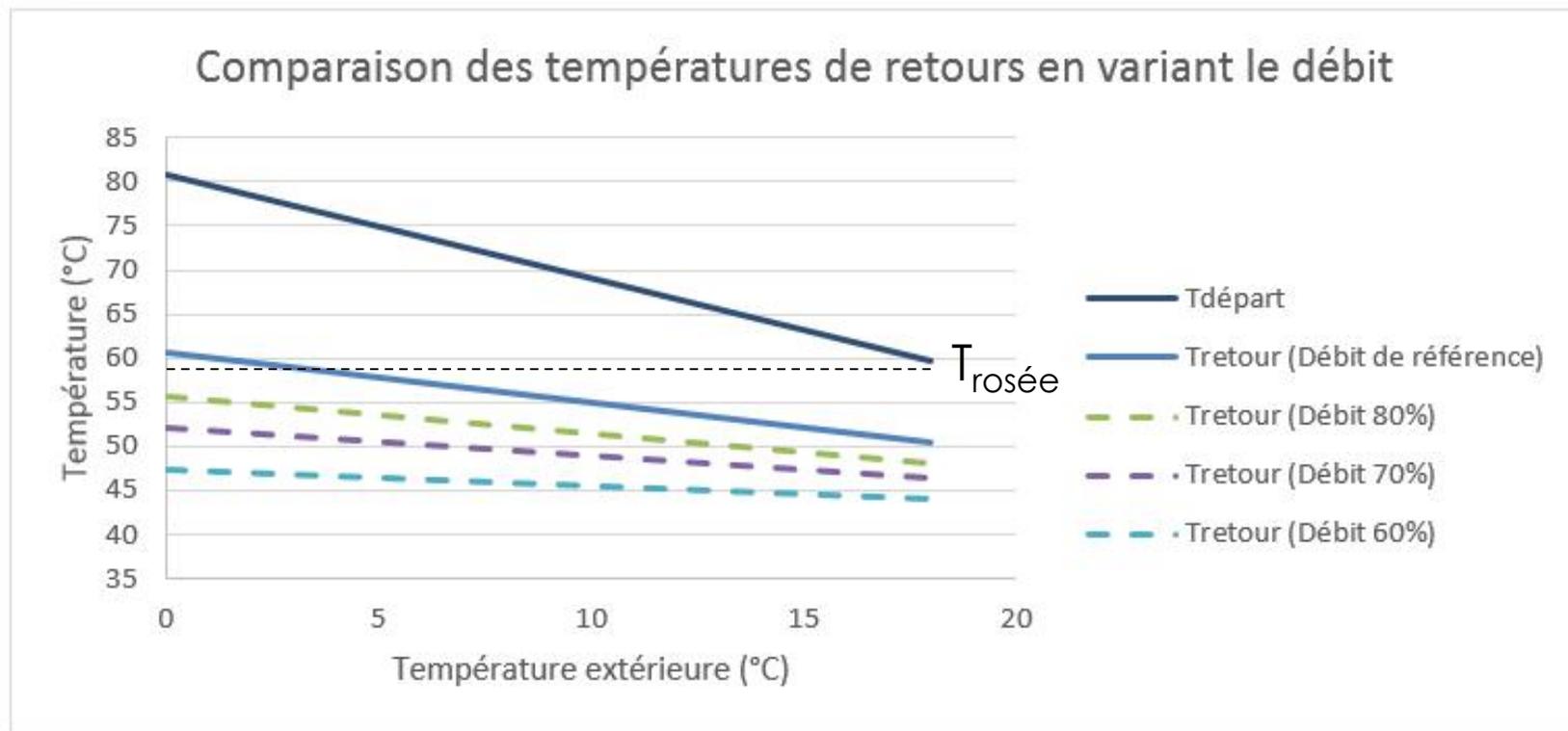
Les sous-stations sont de puissances équivalentes avec une surface et un nombre de logements identiques.

Une optimisation doit être fait pour obtenir les mêmes retours !





Instrumentation d'un condenseur et optimisation



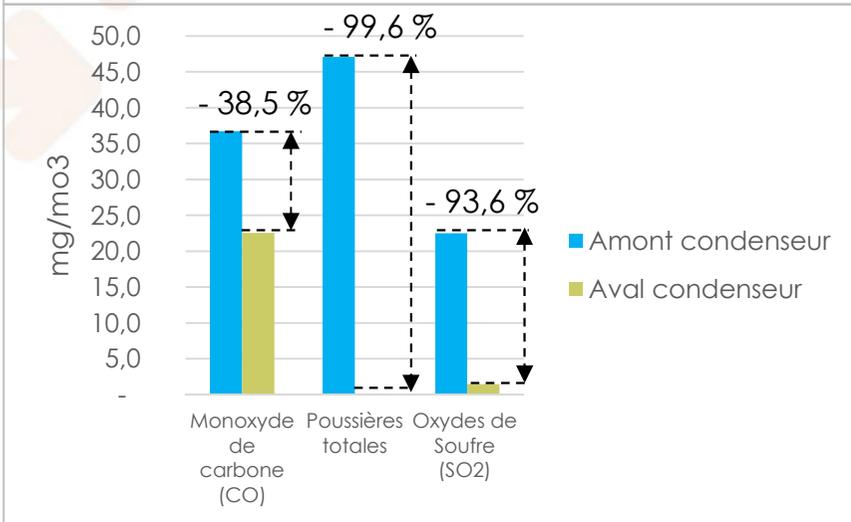
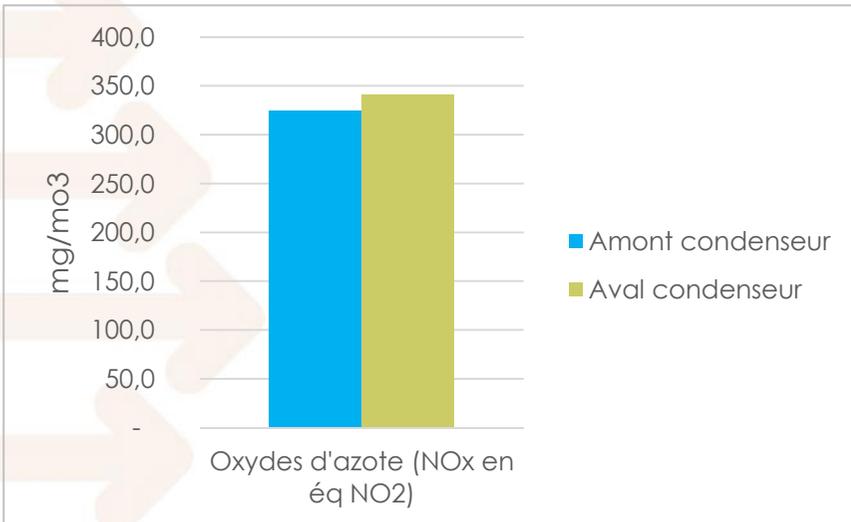
Pour l'exploitant, un des moyens d'abaisser la température de retour est de diminuer le débit.

Dans le cas d'espèce, un abaissement du débit de la pompe de distribution de l'ordre de 20 et de 30% est prévu afin d'obtenir une diminution des température « retour ». Les simulations indiquent que la température « retour » sera toute l'année en deçà du Point de rosée (57°C pour une humidité du bois de 42,5 %),





Les impacts environnementaux



Suivi réalisé sur un site industriel, dans le cadre d'un essai de combustion de déchets de bois sur 3 jours (oct. 2017)

A priori le condenseur n'a pas d'impact sur les Nox mais a un impact positif sur le CO, les poussières et le SO₂

	Amont condenseur	Aval condenseur	Abattement
Monoxyde de carbone (CO)	36,7	22,6	-38,5%
Oxydes d'azote (NOx en éq NO ₂)	325,0	341,2	5,0%
Poussières totales	47,1	0,18	-99,6%
Oxydes de Soufre (SO ₂)	22,5	1,44	-93,6%

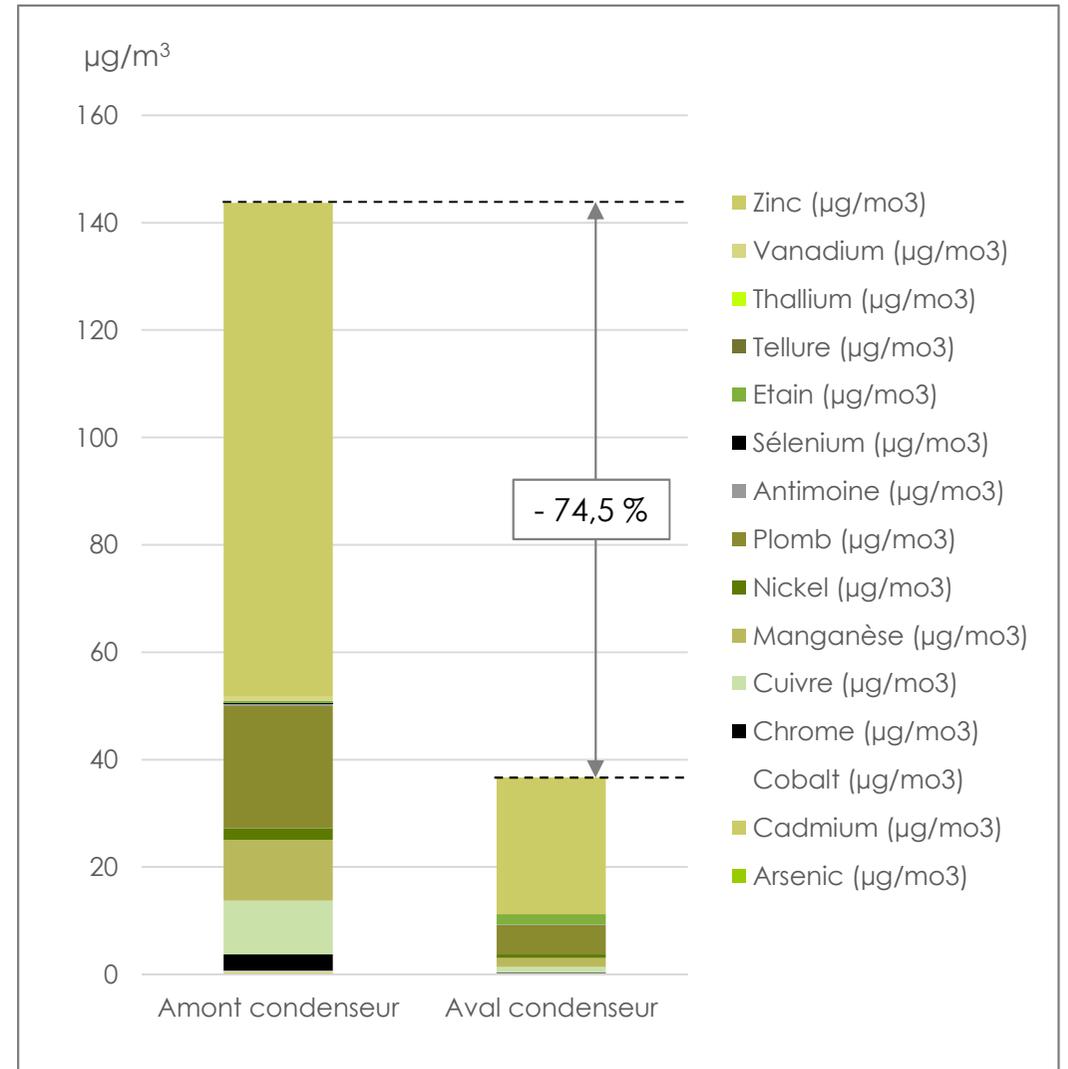
Le condenseur a un impact positif sur le CO, les poussières, le SO₂ et les métaux mais pas d'impact sur les NO_x





Les impacts environnementaux

	Amont condenseur	Aval condenseur	Abattement
Arsenic ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,02	0,00	-100%
Cadmium ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,48	0,08	-83%
Cobalt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,18	0,02	-89%
Chrome ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,02	0,21	-93%
Cuivre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,05	1,11	-89%
Manganèse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,33	1,68	-85%
Nickel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,12	0,65	-69%
Plomb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	22,78	5,44	-76%
Antimoine ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,44	0,09	-80%
Sélénium ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,08	0	-100%
<i>Etain ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>0,43</i>	<i>1,923</i>	<i>+347%</i>
Tellure ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,00	0	0%
Thallium ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,01	0,003	-70%
Vanadium ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,88	0,003	-99%
Zinc ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	91,90	25,50	-72%





Les impacts environnementaux

La condensation permet de récupérer de la chaleur, mais aussi des indésirables :

- Poussières
- NO_x
- CO
- SO_x
- ...



Les condensats sont en revanche acides : ils nécessitent un traitement approprié avant leur rejet dans un réseau d'assainissement public !

L'importance du traitement dépend de la nature et de la performance du traitement des fumées en amont (multicyclone, électrofiltre/filtre à manches)





Instrumentation d'un condenseur et optimisation

Une deuxième série de mesure prévu en incluant :

- Une analyse plus précise de l'humidité du bois (mesure journalière)
- Rendement précis de la chaudière bois
- Instrumentation avec un abaissement progressif du débit sortie chaufferie
- Suivi des sous-stations aux 4 branches de l'échangeur (secondaire et primaire car pas de télérelève)
- Suivi des émissions atmosphérique grâce à la baie d'analyse fonctionnelle





Merci de votre attention !

CEDEN

CABINET D'ÉTUDES SUR LES DÉCHETS ET L'ÉNERGIE

S.A.R.L. au capital de 53 500 €uros

RCS Rouen 488 524 919 - N° TVA intracommunautaire : FR23488524919

Adresse électronique : plumail@ceden.fr / téléphone : 02.35.12.44.77 / télécopie : 02.35.60.01.35

Immeuble Alpha - 9, rue Georges BRAQUE - 76 000 ROUEN