



TRANSITION ÉNERGÉTIQUE & VALORISATION DES DÉCHETS



SN2E



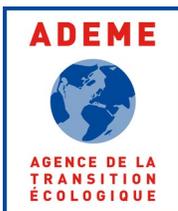
Filière CSR Combustible Solide de Récupération *Révision du modèle économique*



Rencontre technique régionale sur les CSR
23 janvier 2024

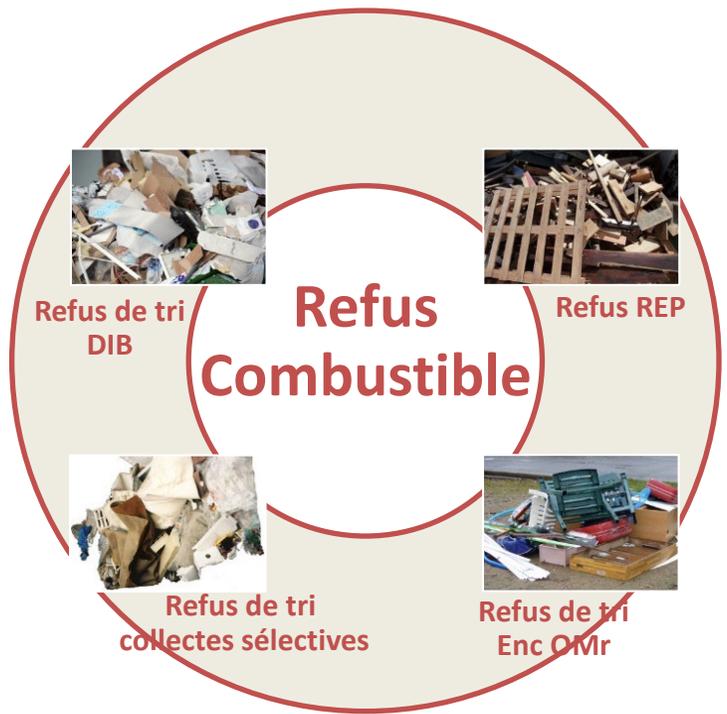


Frédéric GIOUSE
Cabinet MERLIN
SN2E



FILIÈRE CSR

ENJEUX 2030

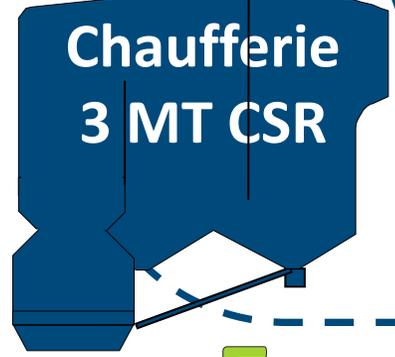


PCI : 15 MJ/T
 ➤ 50% Bio. ➔ 150 kg_{CO2}/T

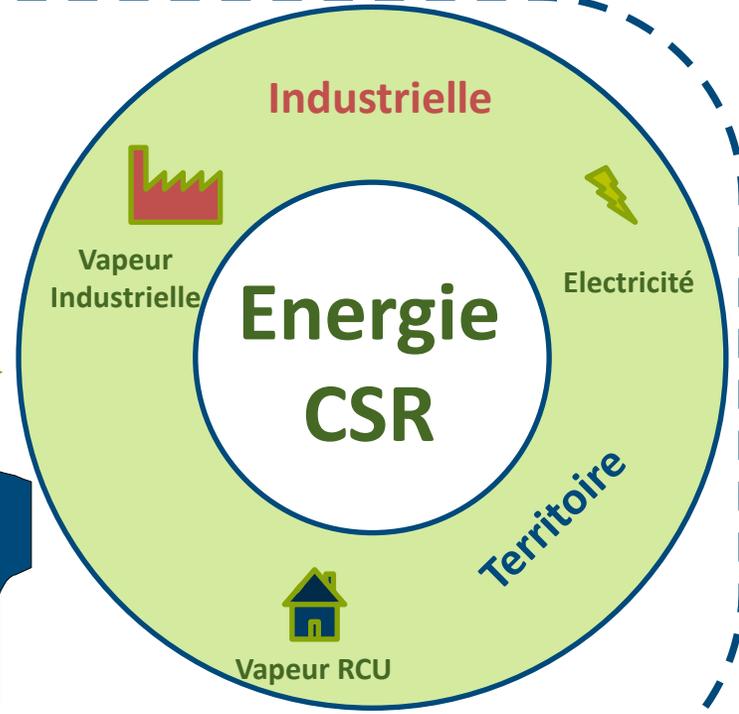
1 MT en cimenterie

4 MT CSR

~~Stockage~~



'Modèle économique'
 = compétitivité de l'énergie CSR



Energie 10 TWh CSR

~~Charbon~~
~~Gaz~~

ETUDE FNADE / SN2E – TRIMESTRE 2 – 2023

Révision du modèle économique de la filière CSR – évolution des coûts et des recettes

Méthodologie

- **Partie 1 – révision 2023** du modèle économique de la chaleur CSR PCI 15 000 kJ/kg (3,5 MW_{th})
 - Scénarios & hypothèses techniques 2023
 - Hypothèses économiques 2023 : évolutions des coûts et des recettes
 - CAPEX – Fi – OPEX- CO₂
 - Recettes chaleur – électricité et CSR

⇒ VALIDATION

- **Partie 2 – modèle économique : prix de revient de la chaleur CSR – recettes de valorisation – aides à la compétitivité de la chaleur CSR**

- Scénario 1 - chaudière CSR 50 MW client industriel – substitution gaz
 - Chaufferie 50 MW
 - Cogénération industrielle 50 MW / 4,3 MW_e
- Scénario 2 - chaudière 19,9 MW – substitution gaz
 - Chaufferie & cogénération industrielle
 - Cogénération sur Réseau de Chaleur Urbain

Chaudière 19,9 MW – électricité et séchage thermique du CSR

- **Synthèse et conclusions**

⇒ RESTITUTION

PRÉSENTATION DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

• Présentation des scénarios de chaufferies / cogénération CSR

Les scénarios du modèle technique

- Scénario 1 - chaudière CSR 50 MW client industriel – substitution gaz
 - Chaufferie 50 MW
 - Cogénération industrielle 50 MW / 4,3 MWé
- Scénario 2 - chaudière 19,9 MW – substitution gaz
 - Chaufferie & cogénération industrielle
 - Cogénération sur Réseau de Chaleur Urbain
 - Chaudière 19,9 MW – électricité et séchage thermique du CSR (pour mémoire)

• Modèle économique : synthèse des résultats

- Rappel du modèle et hypothèses
 - Financement
 - CO2
- CAPEX / OPEX : prix 2023
- Recettes 2023 : Energie (chaleur / élec) – CSR
- Prix de revient de la chaleur CSR – recettes de valorisation – aides à la compétitivité de la chaleur CSR

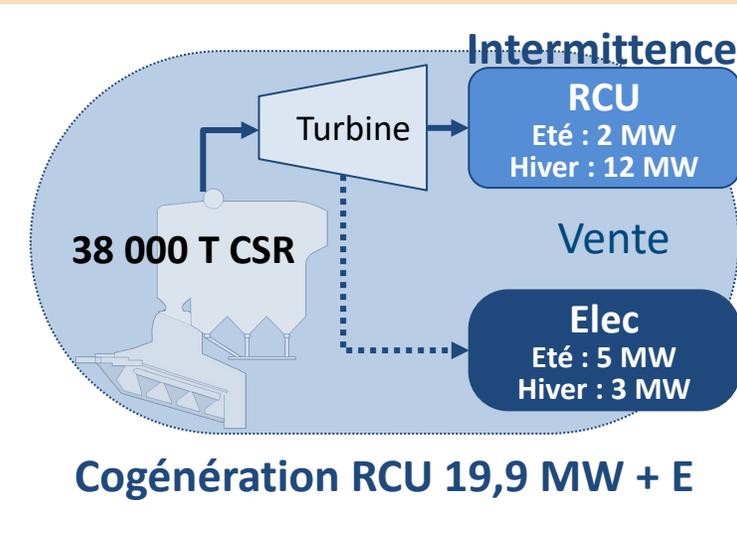
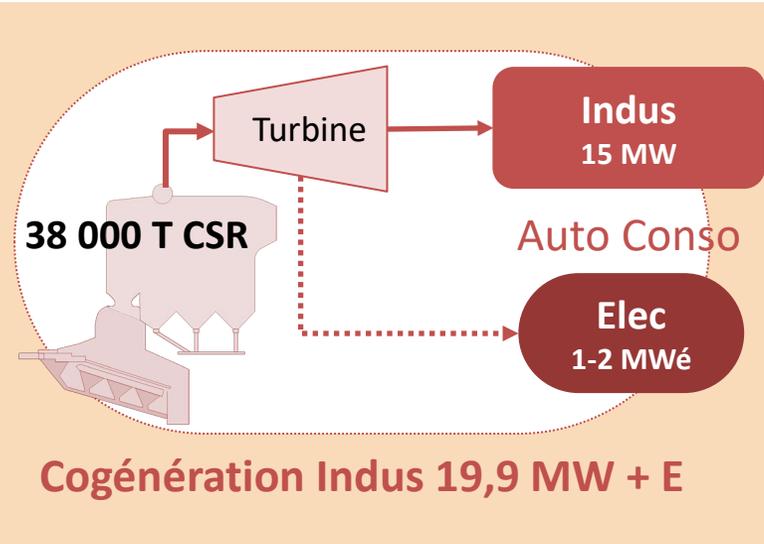
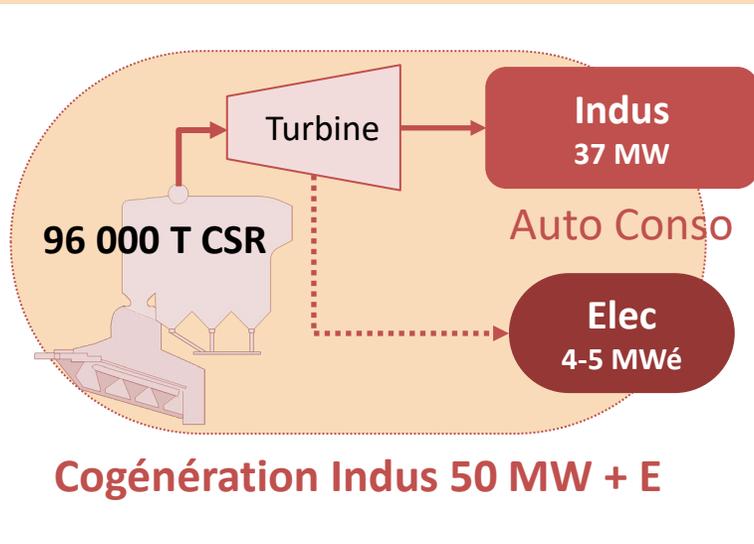
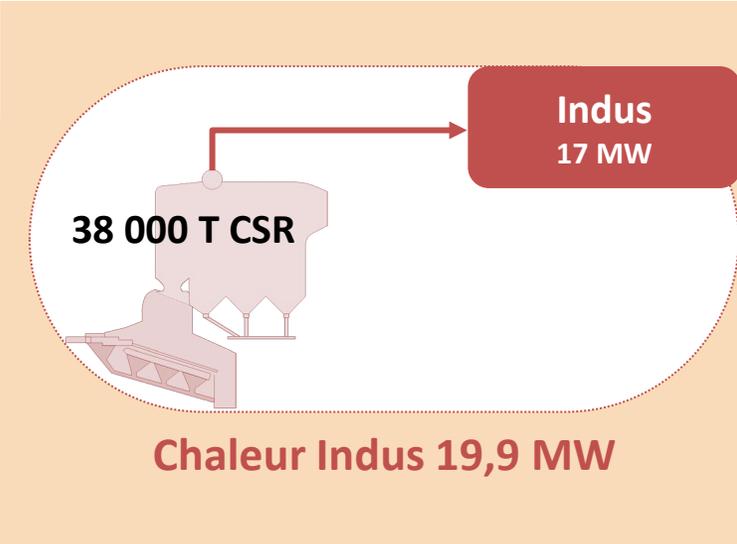
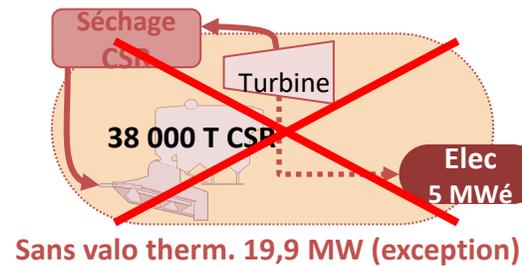
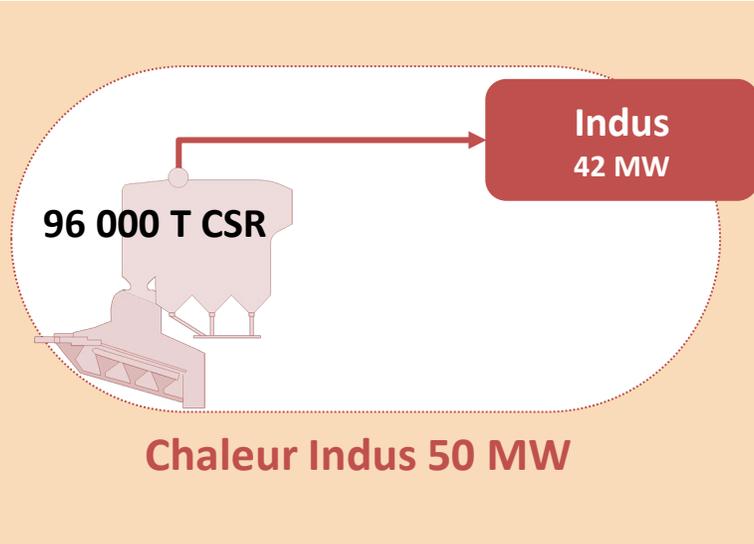
• Synthèse

MODÈLE TECHNIQUE

Industriel & Territorial



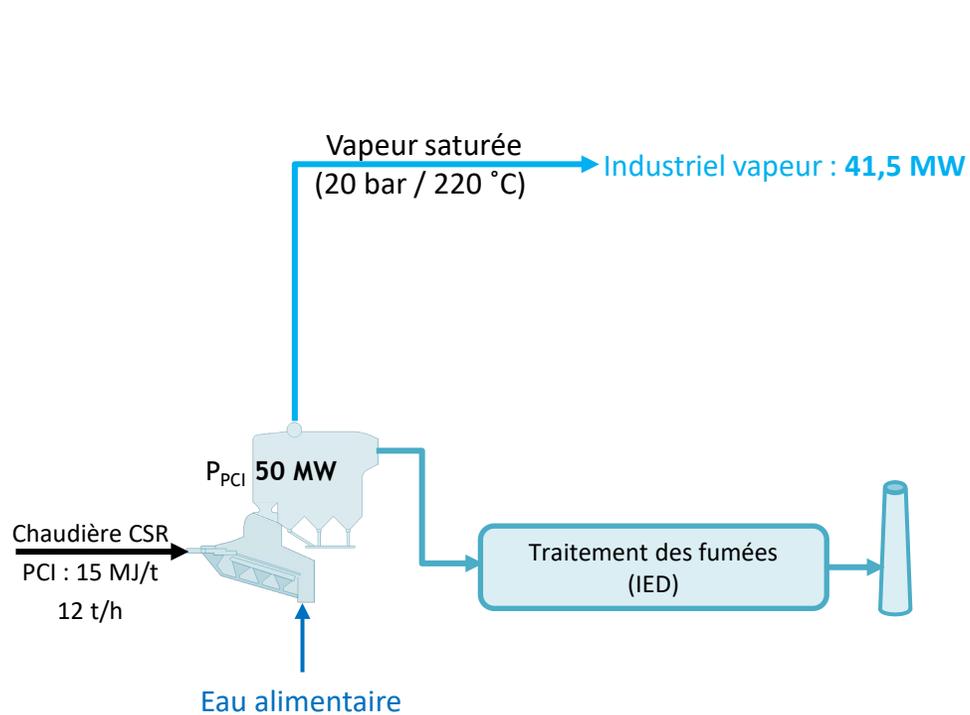
**Chaleur CSR
3MT / 10 TWh**



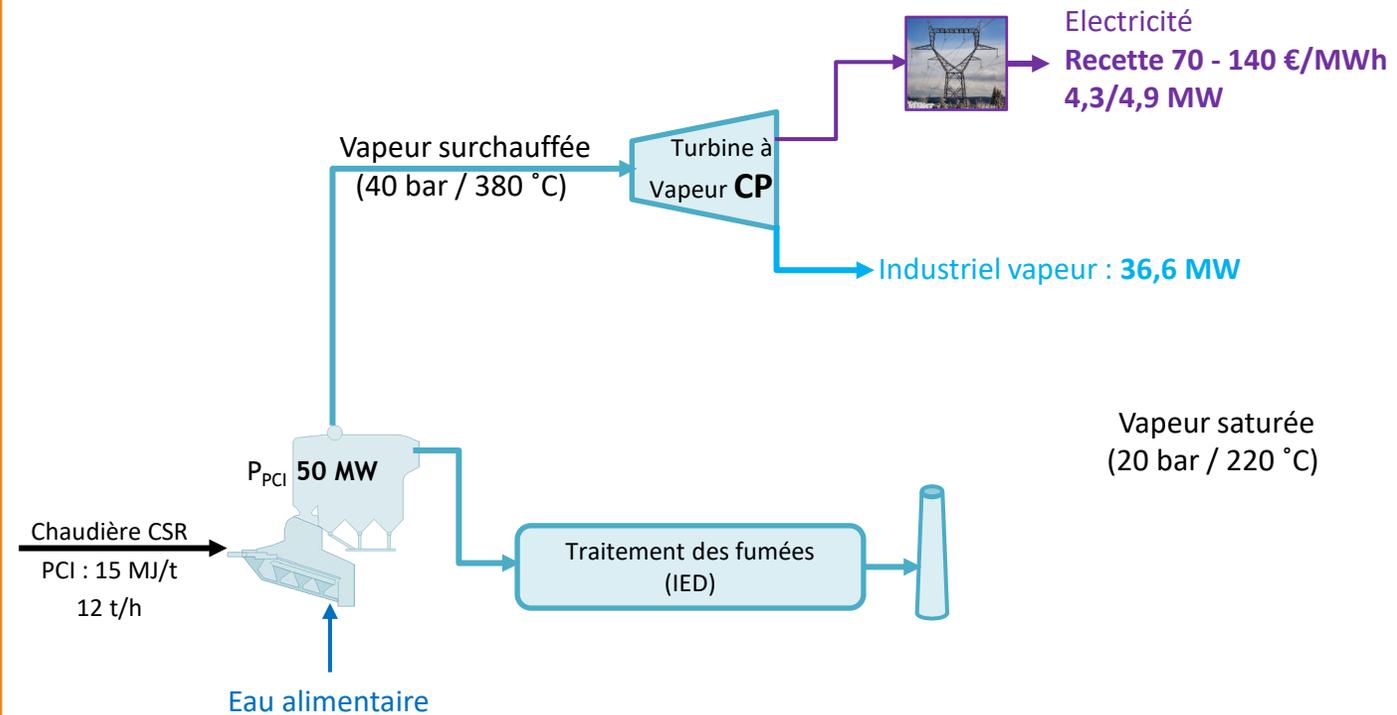
Chaudière 19,9 MW : non soumises à EU ETS (quotas de CO₂)



SC 1 – CHAUDIÈRE CSR 50 MW : CLIENT INDUSTRIEL – SUBSTIT. GAZ

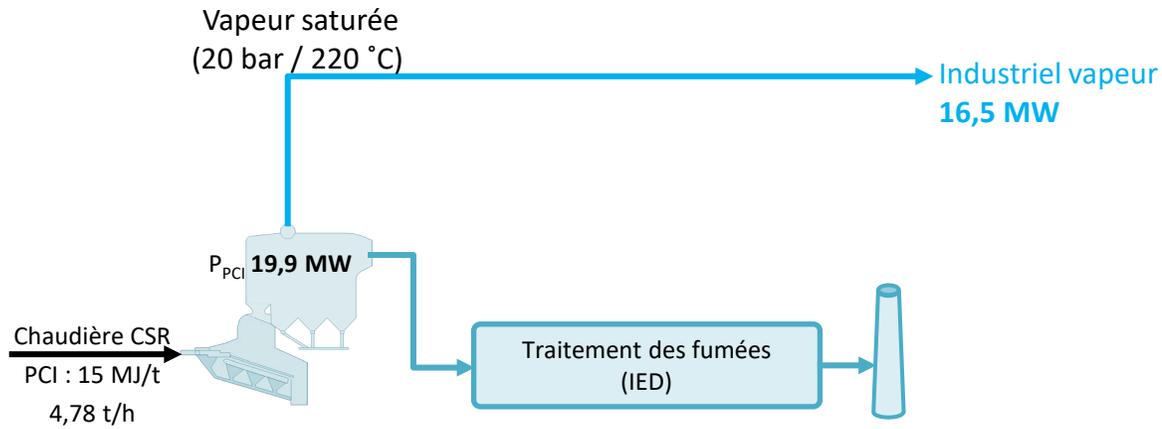


Chaleur Simple = R : 80 % / R_{requis} : 70 %

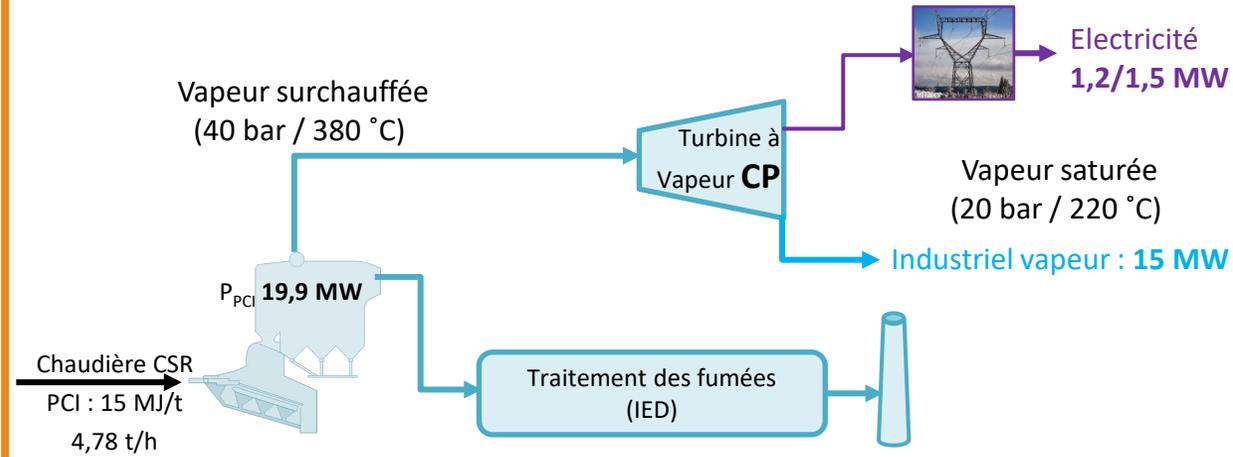


Cogénération Haute Perf. = R : 79 % / R_{requis} : 70 %

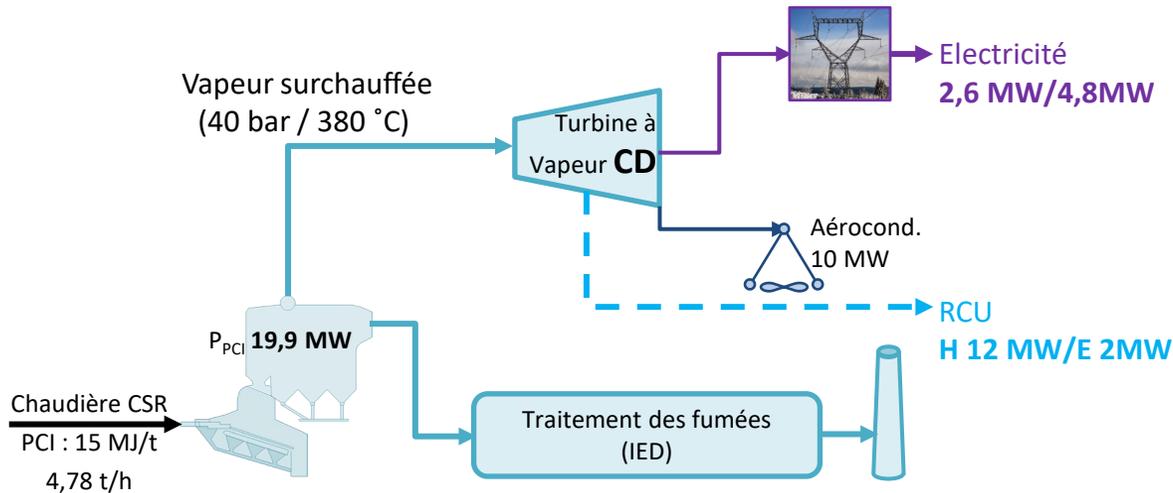
SC 2 – CHAUDIÈRE CSR 19,9 MW – SUBSTIT. GAZ – Gogé. Haute Perf.



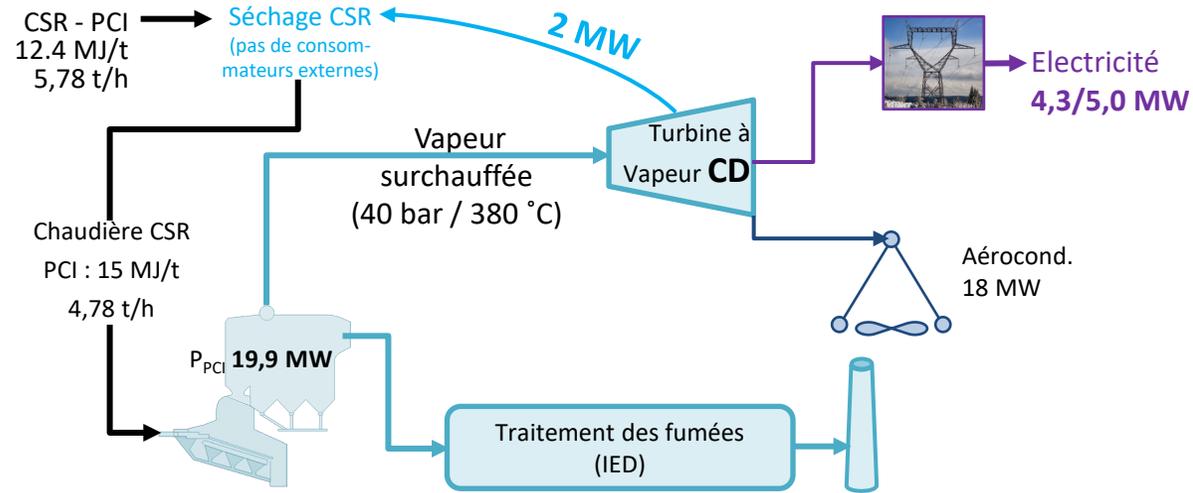
Production de chaleur industriel = $R : 81 \% / R_{requis} : 70 \%$



Industriel 20 b / 220 °C
Cogénération industriel = $R : 80 \% / R_{requis} : 70 \%$



Cogénération Haute Perf. Réseau de Chaleur Urbain :
HIVER = $R : 72 \% / R_{requis} : 70 \%$ - ÉTÉ = $R : 33 \% / R_{requis} : 30 \%$



Electricité & séchage thermique du CSR =
 $R : 31 \% / R_{requis} : 30 \%$ - Non retenu par le GT

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS D'ÉTUDE

• Présentation des scénarios de chaufferies / cogénération CSR

Les scénarios du modèle technique

- Scénario 1 - chaudière CSR 50 MW client industriel – substitution gaz
 - Chaufferie 50 MW
 - Cogénération industrielle 50 MW / 4,3 MWé
- Scénario 2 - chaudière 19,9 MW – substitution gaz
 - Chaufferie & cogénération industrielle
 - Cogénération sur Réseau de Chaleur Urbain
 - Chaudière 19,9 MW – électricité et séchage thermique du CSR (pour mémoire)

• Modèle économique : synthèse des résultats

- Rappel du modèle et hypothèses
 - Financement
 - CO₂
- CAPEX / OPEX : prix 2023
- Recettes 2023 : Energie (chaleur / élec) – CSR
- Prix de revient de la chaleur CSR – recettes de valorisation – aides à la compétitivité de la chaleur CSR

• Synthèse

MODÈLE ÉCONOMIQUE : RAPPEL

$$\text{CAPEX} + \text{Fi} + \text{OPEX} + \text{CO}_2 = \text{recette Energie} + \text{recette CSR} \text{ (+ soutien CSR)}$$



- **Calcul du prix de revient de la chaleur CSR 2023**

- CAPEX + Financement
- OPEX + CO₂

- **Calcul des recettes attendues**

- Chaleur industrielle & RCU
- Electricité (cogénération)
- Recettes CSR



- **Calcul du soutien à la compétitivité de la chaleur CSR nécessaire au développement de la chaufferie**

HYPOTHÈSES FINANCEMENT - 2023

- TRI visé de 8 % avant Impôts = IDEM 2021
- Taux aides sur CAPEX : 0 – (25) – 45 % _{Hors GTA} = ref 2021

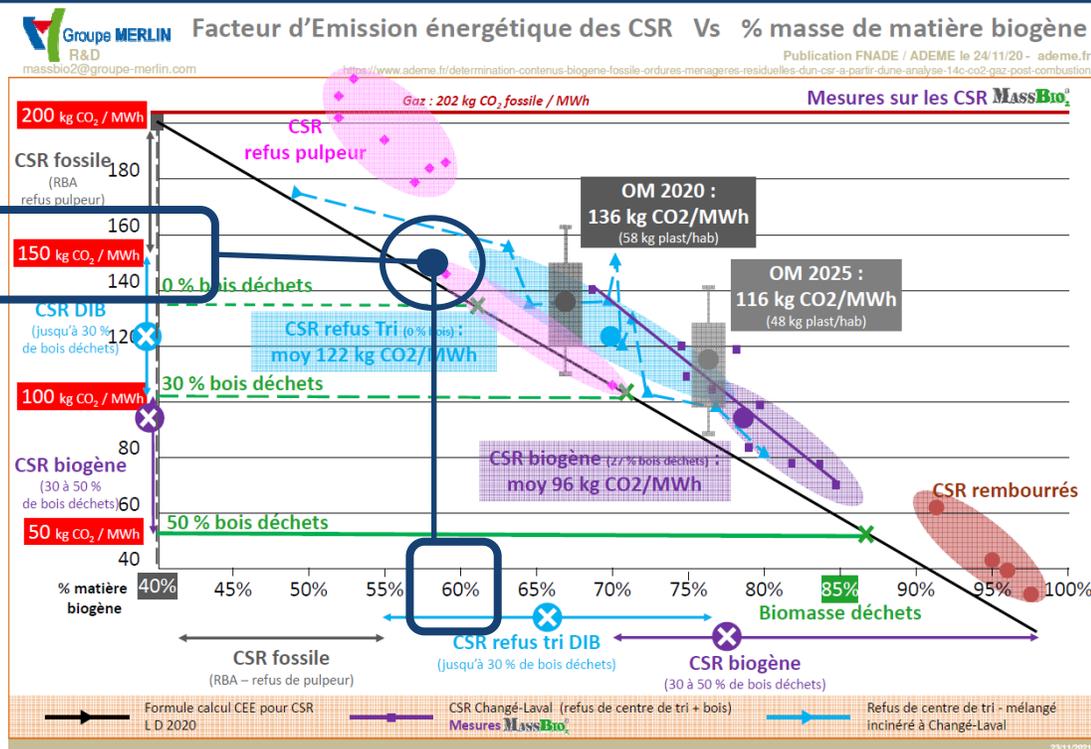
	Rappel 2021		2023	
	19,9 MW	50 MW	19,9 MW	50 MW
Taux d'inflation recettes	0,7 %		1,4 %	
Taux inflation coûts fixes et proportionnels	1,0 %		2,0 %	
Taux actualisation des flux	2,69 %		2,69 %	
Charges de structures	0 %		Cas de base 0 – Max. 6 %	
Quotas CO ₂ (jusqu'à 150 kg CO ₂ MWh/ PCI)	0	35 €/t	0	80 €/t

Basé sur étude EU ETS ;
Evolution selon inflation

PRISE EN COMPTE DES ÉMISSIONS DE CO₂ – COÛT DU CO₂ X 2,5

Rappels CO₂

- Les centrales CSR sont soumises à EU – ETS (quotas de CO₂)
 - S'applique aux centrales de puissance supérieure à 20MW PCI
 - Pas de quota gratuits (achat sur le marché des émissions de CO₂)



	Rappel 2021		2023	
	19,9 MW	50 MW	19,9 MW	50 MW
Emissions de CO ₂ :				
Rappels Carac. CSR 15 MJ/kg soit 4,1 MWh : mini : 60% _{masse bio} - 51% _{ener.} EnR FE du CSR : jusqu'à 150 kg CO ₂ / MWh PCI	0	35 €/tonne CO ₂	0 avec évaluation impact	80 €/tonne CO ₂

Evolution du cout du CO₂ selon inflation



CAPEX – EVOLUTIONS ENTRE 2021 ET 2023 : SUP. À 30 %

	Scénario 50 MW			Scénario 19,9 MW				
Scénario	Rappel 2021 50 MW - Chaleur indust	Ref 2023 50 MW Chaleur indust	Cogé indust 50 MW 4,3 MWé	Rappel 2021 19,9 MW Chaleur indus	Ref 2023 19,9 MW Chaleur indust	Cogé indust 19,9 MW 1,2 MWé	Cogé RCU 19,9 MW H 2,2 / E 4,8 MW	Cogé Séchage CSR 4,3 MWé
Process								
Stockage/manutention combustible	3,5 M€ HT	3,2 M€ HT	3,2 M€ HT	2,2 M€ HT	1,9 M€ HT	1,9 M€ HT	1,9 M€ HT	,9 M€ HT
Four chaudière + TF	33,0 M€ HT	46,0 M€ HT	48,0 M€ HT	16,0 M€ HT	23,0 M€ HT	24,0 M€ HT	24,0 M€ HT	24,0 M€ HT
GTA + cycle eau-vapeur	PAS DE GTA	PAS DE GTA	10,5 M€ HT	PAS DE GTA	PAS DE GTA	7,0 M€ HT	12,0 M€ HT	15,0 M€ HT
Electricité – Contrôle commande	3,5 M€ HT	3,5 M€ HT	3,5 M€ HT	2,2 M€ HT	2,2 M€ HT	2,2 M€ HT	2,2 M€ HT	2,2 M€ HT
Utilité, divers	4,5 M€ HT	4,7 M€ HT	4,7 M€ HT	2,0 M€ HT	2,1 M€ HT	2,1 M€ HT	2,1 M€ HT	2,1 M€ HT
Raccordement réseau (500m)	0,6 M€ HT	1,0 M€ HT	1,0 M€ HT	0,6 M€ HT	1,0 M€ HT	1,0 M€ HT	1,0 M€ HT	PAS DE VAPEUR
Total Process	45,1 M€ HT	58,4 M€ HT	70,9 M€ HT	23,0 M€ HT	30,2 M€ HT	38,2 M€ HT	43,2 M€ HT	45,2 M€ HT
Génie civil								
Total Génie Civil	8,5 M€ HT	13,0 M€ HT	15,0 M€ HT	4,5 M€ HT	8,0 M€ HT	9,0 M€ HT	9,0 M€ HT	9,0 M€ HT
Total travaux	53,6 M€ HT	71,4 M€ HT	85,9 M€ HT	27,5 M€ HT	38,2 M€ HT	47,2 M€ HT	52,2 M€ HT	54,2 M€ HT
Frais annexes (10%)	5,4 M€ HT	7,1 M€ HT	8,6 M€ HT	2,8 M€ HT	3,8 M€ HT	4,7 M€ HT	5,2 M€ HT	5,4 M€ HT
Total Investissements	59,0 M€ HT	78,6 M€ HT	94,5 M€ HT	30,3 M€ HT	42,0 M€ HT	51,9 M€ HT GTA CP	57,4 M€ HT GTA CD Aerocond. 8-10 MW	59,6 M€ HT GTA CD Aerocond. 18 MW



OPEX – EVOLUTIONS ENTRE 2021 ET 2023 : + 10 À 40 %

		2021		2023	
Frais Proportionnels		19,9 MW	50 MW	19,9 MW	50 MW
Electricité	Consommation	100 kWh/t combustible	80 kWh/t combustible	100 kWh/t combustible	80 kWh/t combustible
	Coût	70 €/MWh		100 €/MWh	
Gaz	Consommation	15 kWh/t combustible	15 kWh/t combustible	15 kWh/t combustible	15 kWh/t combustible
	Consommation	40 €/MWh		80 €/MWh	
Autres (eau...)		4 000 €/an	7 000 €/an	4 000 €/an	7 000 €/an
Réactifs eau chaudière		20 000 €/an	60 000 €/an	25 000€/an	75 000 €/an
Réactifs					
Eau ammoniacale		200 € HT/t – 4,0 kg/t de comb		300 € HT/t – 4,0 kg/t de comb	
Bicarbonate		200 € HT/t – 25 kg/t de comb		300 € HT/t – 30 kg/t de comb	
Charbon actif	Max. : 1 000 € HT/t	1 000 € HT/t – 0,9 kg/t de comb.		1 000 € HT/t – 0,9 kg/t de comb	
Evacuations résidus	Mâchefers valo.	50 €/t		55 €/t	
	Résidus d'épuration fumées	250 €/t		275 €/t	
GER		2,5 % montant travaux process		2,5 % montant travaux process	
		+ 0,5 % montant travaux GC		+ 0.5 % montant travaux GC	

RECETTES CSR – EVOLUTIONS DES RECETTES ATTENDUES

	Ref. 2020	Plages d'études 2023	Valeur de référence 2023
Variations des recettes de chaleur		Augmentation référence gaz	
Vente Chaleur Industrielle	17.50 à 20€/MWh + aide au fonctionnement = recette 25 à 30 €/MWh Hors Quota	30 – 60 €/MWh	<p>Chaufferie CSR NON soumise quota CO2 (< 20 MW) : 40 €/MWh (30 €/MWh en 2020)</p> <p>Chaufferie CSR soumise quota CO2 (> 20 MW): 35 €/MWh + 15 €/MWh pour le CO2 = 50 €/MWh (25 €/MWh_{hors quota CO2} en 2020)</p>
Vente chaleur RCU	40€/MWh + aide au fonctionnement = recette 54 €/MWh	30 – 60 €/MWh	RCU NON soumis quota CO2 : 50 €/MWh (Ref. gaz ; intermittence RCU)
Variations des recettes d'électricité		Augmentation référence Prix elec	
Vente électricité ou auto conso	60€/MWh _{elec}	70 – 140 €/MWh_{elec}	<p>Prod. constante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 19.9 MW : 90 €/MWh_{elec} - 50 MW : 80 €/MWh_{elec} <p>Prod. variable (RCU) : 105 €/MWh_{elec}</p>
Variations des Gate Fee CSR		Augmentation référence stockage	
CSR issu de refus de tri de DAE : Gate Fee	30 €/t CSR	30 – 80 €/t CSR	<p>Petites unités (19,9 MW) : 50 €/t CSR</p> <p>Grandes unités (50 MW) : 40 €/t CSR – (transport limite le Gate Fee)</p>



SYNTHÈSE 2023 : PRIX DE REVIENT – RECETTES CHALEUR & CSR

Soutien à la compétitivité de la chaleur CSR

	Scénarios 50 MW						Scénarios 19,9 MW							
Scénario	Chaleur simple indus. 2020		Chaleur simple industrielle		Cogénération industrielle		Chaleur simple indus. 2020		Chaleur simple industrielle		Cogénération industrielle		Cogénération RCU	
Prix de revient														
CAPEX	59 M€	19 €/MWh	79 M€	25 €/MWh	95 M€	33 €/MWh	30 M€	25 €/MWh	42 M€	33 €/MWh	52 M€	45 €/MWh	57 M€	103 €/MWh
OPEX	73 €/t	21 €/MWh	100 €/t	25 €/MWh	108 €/t	30 €/MWh	86 €/t	24 €/MWh	132 €/t	32 €/MWh	117 €/t	36 €/MWh	112 €/t	77 €/MWh
Prix de revient (hors CO₂) en €/MWh vendu	40 €/MWh		50 €/MWh		63 €/MWh		49 €/MWh		65 €/MWh		81 €/MWh		180 €/MWh	
CO ₂ (Impact 150kg _{CO2} /MWh)	Non compris		+15 €/MWh _{therm}		+16 €/MWh _{therm.}		Non compris		Non soumis à EU ETS (impact 15 €/MWh)		Non soumis à EU ETS (Non concerné en 2023)		Non soumis à EU ETS (Non concerné en 2023)	
Prix de revient yc CO₂ en €/MWh vendu	40 €/MWh		65 €/MWh		79 €/MWh		49 €/MWh		65 €/MWh		81 €/MWh		180 €/MWh	
Recettes														
Prix de vente Chaleur	25 €/MWh		50 €/MWh		50 €/MWh		30 €/MWh		40 €/MWh		40 €/MWh		50 €/MWh	
Prix vente électricité					80 €/MWh _{elec}						90 €/MWh _{elec}		105 €/MWh _{elec}	
Gate Fee (€/T CSR & €/MWh vendu)	28 €/t	8 €/MWh	40€/T	11 €/MWh	40 €/t	13 €/MWh	40 €/t	11 €/MWh	50€/t	15 €/MWh	50 €/t	16 €/MWh	50 €/t	34 €/MWh
Total recettes hors soutien	33 €/MWh		61 €/MWh		73 €/MWh		41 €/MWh		55 €/MWh		65 €/MWh		138 €/MWh	
Soutien à la compétit. (Maxi. 45 % CAPEX – yc GTA)	45%	27 M€ 7€/MWh	15 % CAPEX	12 M€ 4 €/MWh	25 % CAPEX	24 M€ 6 €/MWh	45 %	13 M€ 9 €/MWh	35 % CAPEX	15 M€ 10 €/MWh	45 % CAPEX	23 M€ 16 €/MWh	45 % CAPEX	26 M€ 42 €/MWh

En cas d'abaissement du seuil EU ETS de 20 MW (avec les hypothèses retenues) les projets 19,9 MW ne trouvent pas leur équilibre économique

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS D'ÉTUDE

• Présentation des scénarios de chaufferies / cogénération CSR

Les scénarios du modèle technique

- Scénario 1 - chaudière CSR 50 MW client industriel – substitution gaz
 - Chaufferie 50 MW
 - Cogénération industrielle 50 MW / 4,3 MWé
- Scénario 2 - chaudière 19,9 MW – substitution gaz
 - Chaufferie & cogénération industrielle
 - Cogénération sur Réseau de Chaleur Urbain
 - Chaudière 19,9 MW – électricité et séchage thermique du CSR (pour mémoire)

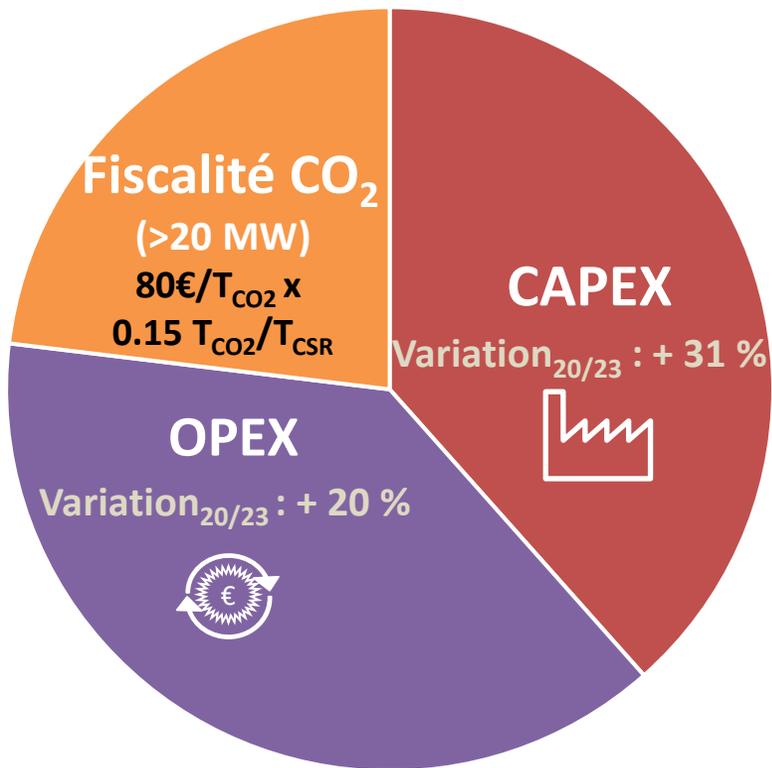
• Modèle économique : synthèse des résultats

- Rappel du modèle et hypothèses
 - Financement
 - CO2
- CAPEX / OPEX : prix 2023
- Recettes 2023 : Energie (chaleur / élec) – CSR
- Prix de revient de la chaleur CSR – recettes de valorisation – aides à la compétitivité de la chaleur CSR

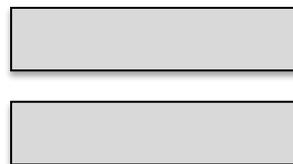
• Synthèse

Prix Revient Chaleur CSR

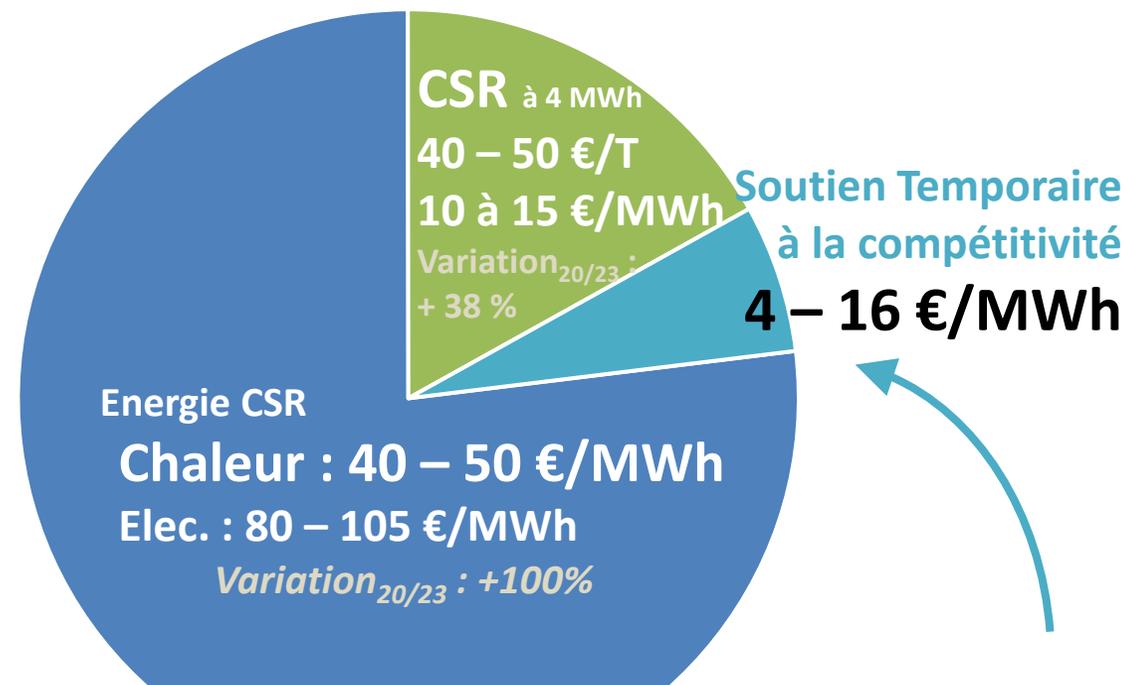
(PR)*



65 – 81 €/MWh



Recettes*



Scénario		Soutien à la compétitivité
50 MW – Indus.	Chaleur	15 % _{CAPEX}
50 MW – Indus.	Cogénération	25 % _{CAPEX}
19.9 MW – Indus.	Chaleur	35 % _{CAPEX}
19.9 MW – Indus.	Cogénération	45 % _{CAPEX}
19.9 MW – RCU	Cogénération	45 % _{CAPEX}

* Cas 50 MW Indus – Chaleur (65€/MWh)

- **Augmentation du Prix de revient de la chaleur CSR**

- Surcoûts CAPEX OPEX : Augmentation du Prix de Revient de la chaleur CSR de 25% environ soit + 15€/MWh
- CO₂ augmentation de 35 à 80 €/T, ce qui augmente le prix de revient de la chaleur CSR de 15 € supplémentaires (installations > 20 MW).

- **Augmentations significatives des recettes mais insuffisantes pour assurer la compétitivité de la chaleur CSR**

- L'augmentation du prix des énergies fossiles permet d'envisager des prix de vente de la chaleur CSR (yc CO₂) de 40 €/MWh pour les installations non soumises à EU-ETS et de 50 €/MWh pour les installations soumises aux quotas
- L'augmentation des coûts d'élimination des refus de tri de DAE (stockage yc TGAP) permet d'envisager des recettes CSR de 50 €/T pour des installations de proximité (unités < 20 MW) et de 40 €/T lorsque les coûts de transports sont plus importants

Ces recettes permettent de **réduire le déficit de compétitivité de la chaleur CSR** à 5 €/MWh pour les unités de 50 MW (10% du prix de vente) et 15 €/MWh pour les unités de 19,9 MW

- **Soutien à la compétitivité de la chaleur CSR**

Le besoin d'un soutien à la compétitivité de la chaleur CSR reste nécessaire mais diminue malgré l'augmentation des coûts (CAPEX/OPEX) et du CO₂ :

- Il représente 25 % du CAPEX pour les unités de cogénération CSR 50 MW (soumises quota)
- Il représente 35 % du CAPEX pour les chaufferies CSR 19,9 MW (non soumises quota)
- Il représente au jusqu'à 45 % du CAPEX pour les unités de cogénération 19,9 MW (non soumises quota)

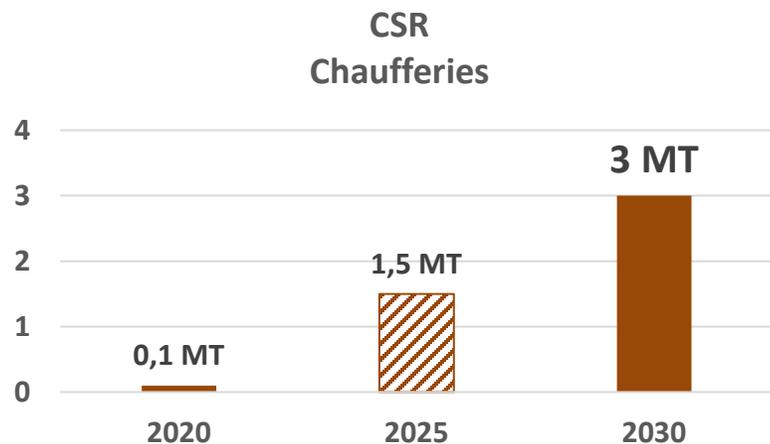
En cas d'abaissement du seuil EU ETS de 20 MW (avec les hypothèses retenues) les projets 19,9 MW ne trouvent pas d'équilibre économique

- **Cogénération ne permet pas de diminuer le soutien à la compétitivité de la chaleur CSR**

- Le prix de vente de l'électricité d'environ 100 €/MWh permet d'envisager des projets de cogénération industrielle pour des unités de 50 MW et éventuellement de 19,9 MW, mais le soutien à la compétitivité de la chaleur CSR est maintenu voire augmenté pour les petites unités
- La cogénération sur RCU (12 MW hiver / 2 MW été) est envisageable pour une chaleur à 50 €/MWh et un soutien de 45 % du CAPEX

CONCLUSIONS -

FNADE/SN2E - 2023



Industriels
19,9 MW / 50 MW

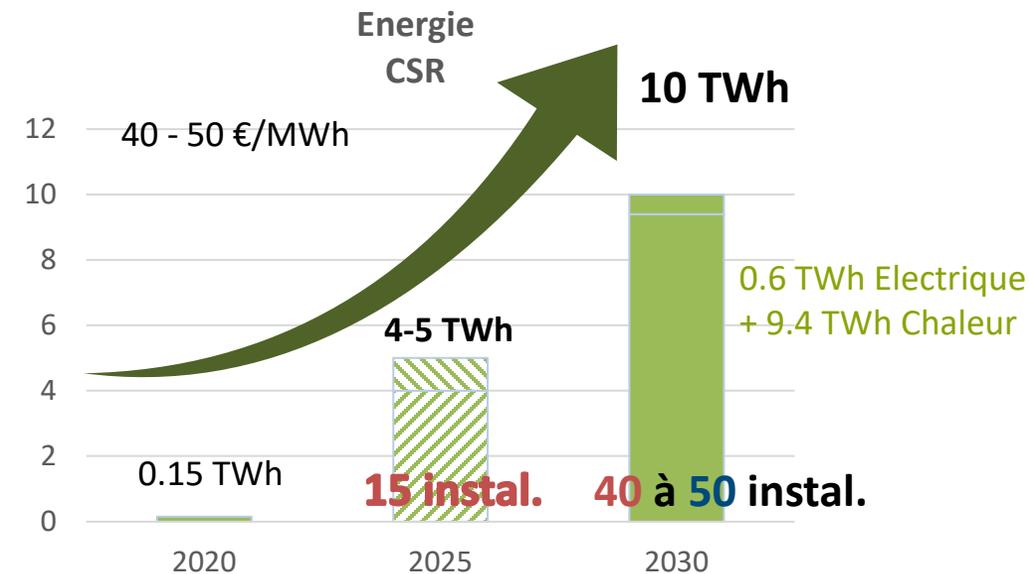
Territoires
RCU – 19,9 MW

Soutien Temporaire
compétitivité chaleur
CSR

En diminution
(4 – 16 €/MWh)

15 à 45 % x
CAPEX

45 % x CAPEX



Elec. autoconsommation

+
Intérêt Cogénération CSR

Elec. pour intermittence RCU



TRANSITION ÉNERGÉTIQUE & VALORISATION DES DÉCHETS



SN2E



Filière CSR Combustible Solide de Récupération *Révision du modèle*



Annexes & extraits études





TRANSITION ÉNERGÉTIQUE & VALORISATION DES DÉCHETS



Merci de votre attention



Frédéric **GIOUSE**
Cabinet MERLIN
SN2E