

DÉCARBONATION DES UTILITÉS CHAUDES ET DES RÉSEAUX SUR SITES INDUSTRIELS - #26

16 mai 2024



Quelques informations pratiques

- Merci de couper vos micros et caméras
- Une session de questions-réponses est prévue après chaque intervention. Pour participer :
 - Utilisez le chat écrit
 - Précisez dans le chat si vous souhaitez intervenir à l'oral
- Les présentations seront disponibles sur l'extranet ALLICE sous quelques jours.
- Contactez le 06.19.36.09.81 en cas de souci technique.



Bon visionnage !

Sommaire

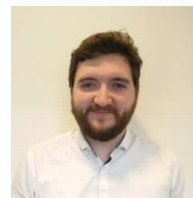
- Restitution de l'étude ALLICE #26
- Présentations :
 - Contexte, périmètre et objectifs de l'étude - CETIAT
 - État des lieux et exemples d'actions d'efficacité énergétique - CETIAT
 - Solutions d'efficacité énergétique pour les réseaux vapeur – SPIRAX Sarco
 - Présentation de la méthodologie générale et des 3 cas d'études - CETIAT
 - Enjeux de la filière papier/carton et projet ValoPAC - CTP
 - Étude de cas papier/carton - CETIAT
 - Synthèse et perspectives sectorielles - Blunomy



François Vial



Lauriane Giroud



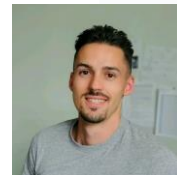
Pierre Richard



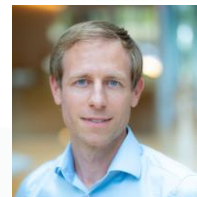
Jonathan Impellizzeri



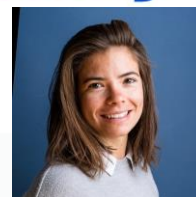
Éric Fourest



Hugo Ceyte



Jérôme Durivault



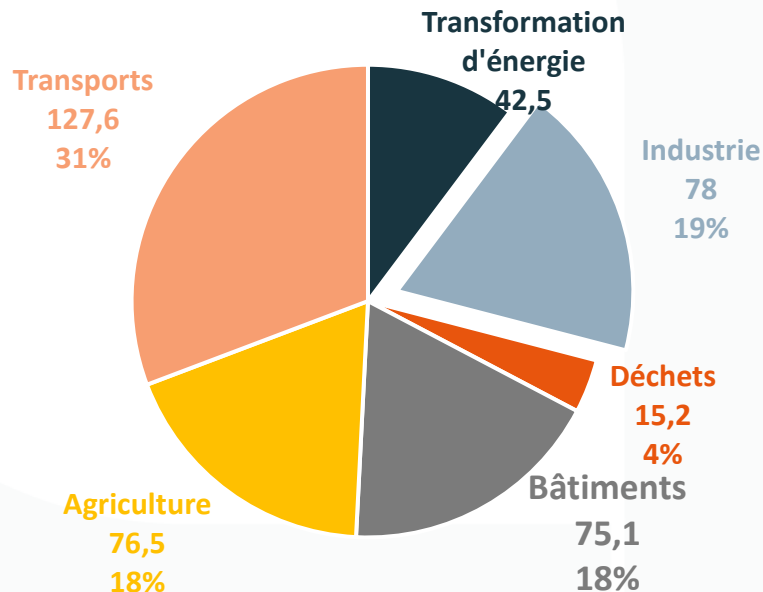
Clara Allois

Contexte, périmètre et objectifs de l'étude

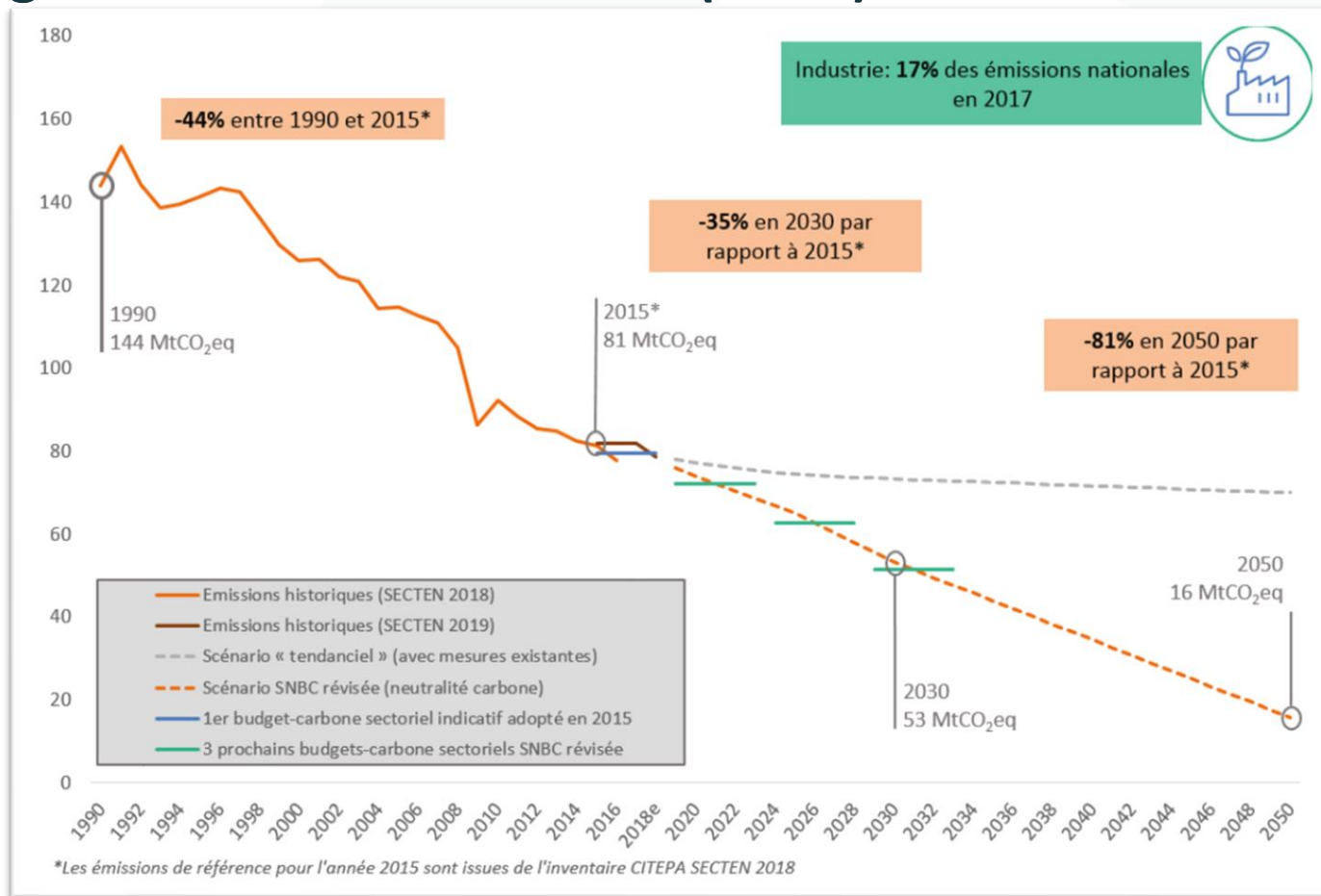
Éléments de contexte

- Part de l'industrie dans les émissions de CO₂ en France (Données INSEE 2021)
 - **78 Mt de CO₂ eq/an**
 - Secteur responsable de 19% des émissions françaises
- Répartition des consommations énergétique du secteur industriel
 - Les procédés → 2/3
 - Les utilités → 1/3
- Les émissions des **utilités chaudes** → **26 MtCO₂eq/an** (données CEREN)
- Objectif SNBC pour l'industrie
 - -35% en 2030 par rapport à 2015
 - -81% en 2050 par rapport à 2015

Répartition des émissions françaises de CO₂ par secteur en millions de tonnes de CO₂ équivalent par an (**Total de 415 Mt/an**)



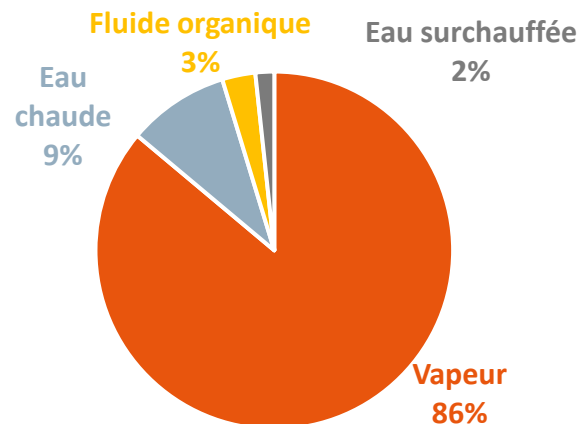
Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)



Périmètre de l'étude

- Décarbonation des **utilités chaudes** dans l'industrie
- Les fluides caloporteurs
 - **La vapeur saturée ou surchauffée (86%)**
 - L'eau chaude (9%)
 - Les fluides organiques (3%)
 - L'eau surchauffée (2%)
- Périmètre géographique → France
- Les secteurs → industries manufacturières

Répartition de la consommation
des utilités chaudes par fluides
caloporteurs



Objectifs de l'étude

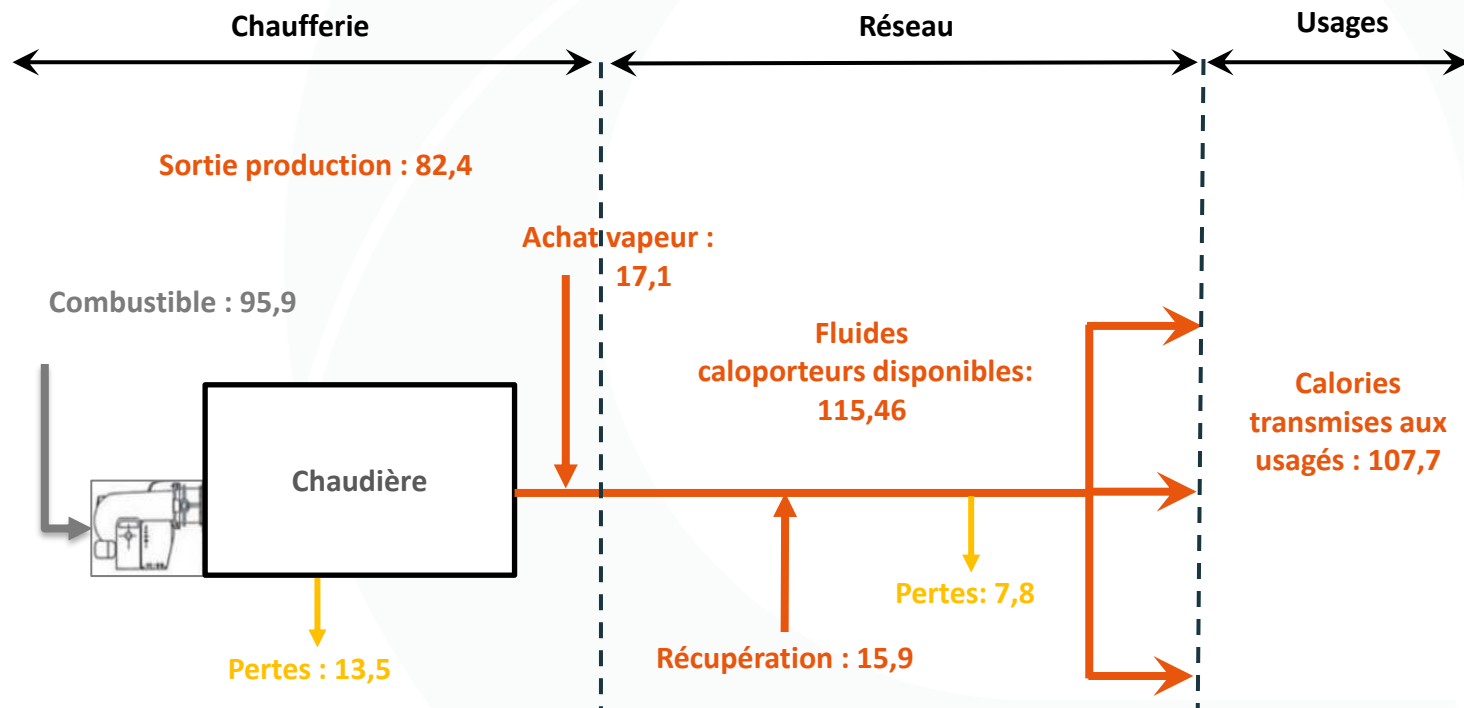
- Identifier les **gisements et les potentiels de décarbonation** associés aux utilités chaudes industrielles et réseaux associés
- Identifier, caractériser et comparer les différentes **solutions de décarbonation** via des **cas d'études**
- Proposer des **recommandations** pour le déploiement de ces solutions
- Estimer un **potentiel de décarbonation** des utilités industrielles

Approche et déroulé de l'étude

- **Phase 1** : état des lieux → Intervenant **Lauriane GIROUD** (CETIAT)
 - Situation actuelle, données CEREN
 - Inventaire des actions d'efficacité énergétique
 - Revue bibliographique des bonnes pratiques
- **Phase 2** : Réalisation de 3 études de cas → Intervenant **Pierre RICHARD** (CETIAT)
 - Scénario de décarbonation en 3 étapes
 - Réflexion de sobriété énergétique
 - Récupération de chaleur
 - Décarbonation du mix énergétique et déploiement d'énergies renouvelables
 - Trois secteurs d'activités étudiés → **Chimie, papier et IAA**
- **Phase 3** : Projection du potentiel de décarbonation des utilités chaudes sur le long terme à échéance 2050 → Intervenants **BLUNOMY**

État des lieux et exemples d'actions d'efficacité énergétique

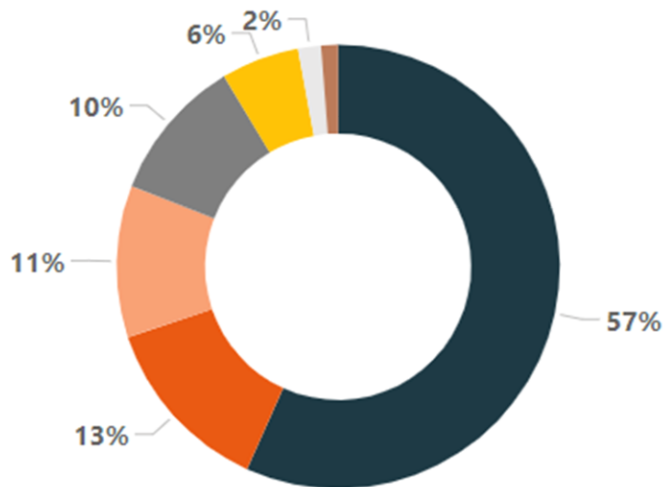
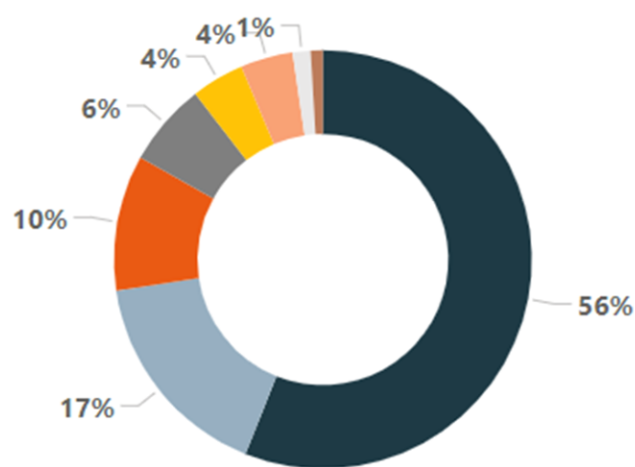
Bilan de consommation des utilités chaudes en TWh



Les parts de combustibles utilisés pour les utilités chaudes

Poids énergétique (96 TWh/an)

Poids carbone (22 MT/an)

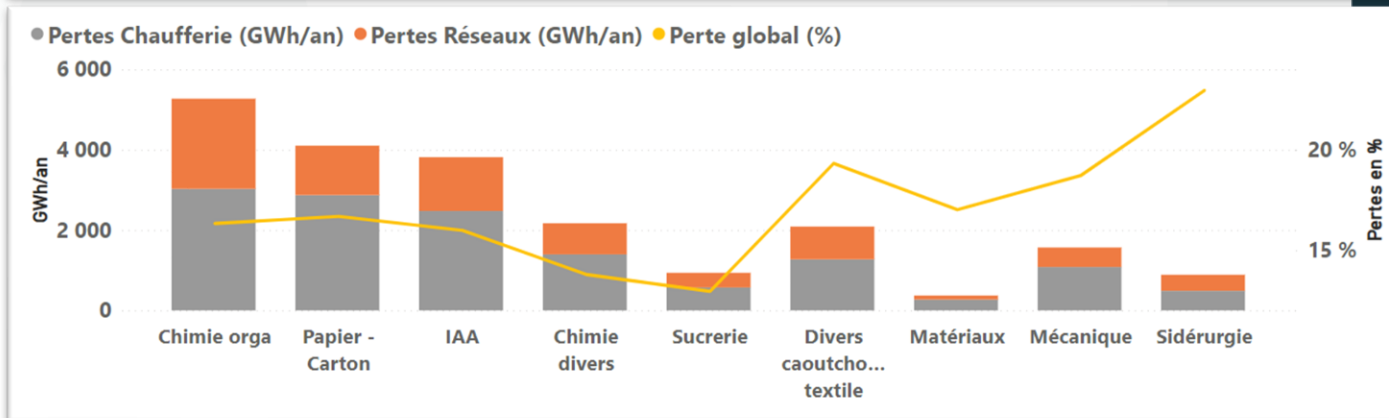
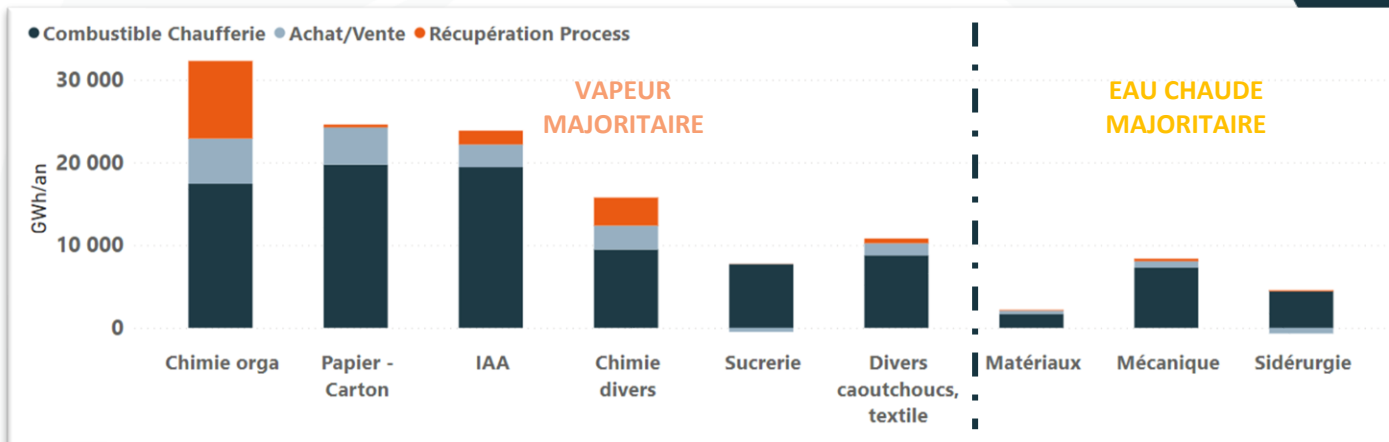


Combustible

- Gaz Naturel
- Autres produits pétroliers
- Gaz sidérurgie
- Charbon
- Fuel Lourd
- Butane, Propane
- Fuel Domestique
- Biomasse

Consommation d'énergie par secteur

- Trois secteurs les plus consommateurs → Chimie, Papier/carton et IAA
- Pertes en moyenne de 16% par rapport à l'énergie totale disponible
- Taux de récupération important en chimie uniquement → Niveaux de températures élevés
- Peu de consommation vapeur sur les secteurs matériaux et métallurgie

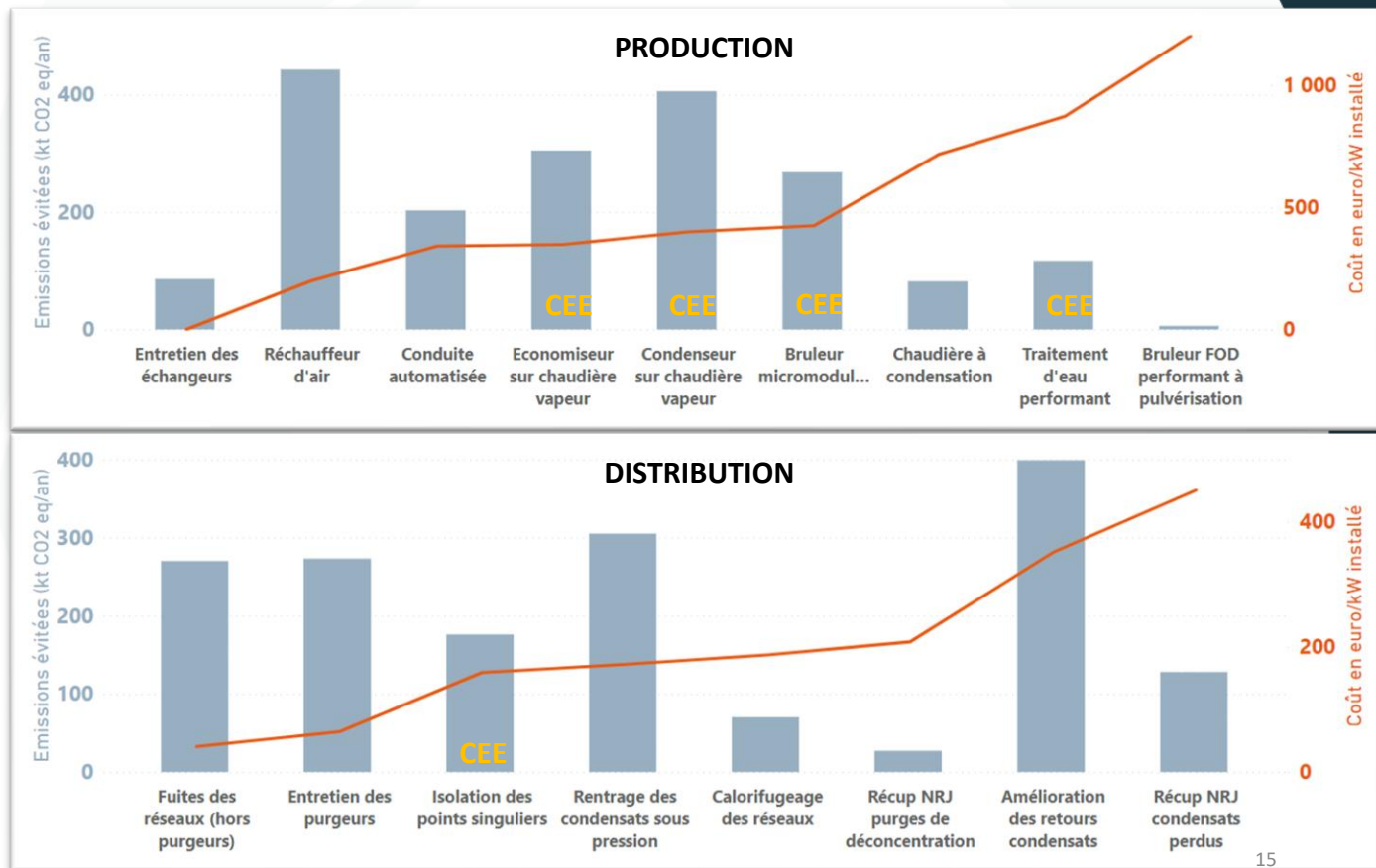


Actions d'économie d'énergie : Réduction des émissions CO2 atteignables et leur coûts de mise en œuvre

- Méthodologie de calcul des émissions atteignables
 - Gisement disponible
 - taux de pénétration actuel et atteignable
- Des coûts plus faibles au niveau des actions sur la distribution
- Plus d'aides sur les actions sur la production

Coût en €/kW installé → hypothèses

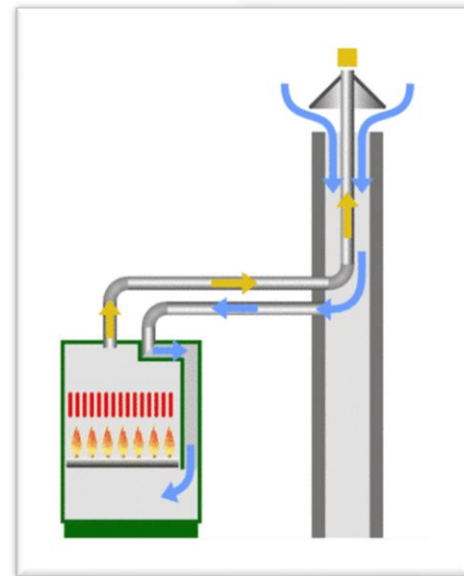
- fonctionnement de 6 000h/an
- Taux de fonctionnement moyen de 65% sur sa période de fonctionnement



Focus sur 2 solutions

Le réchauffeur d'air de combustion

- Utilise la chaleur des fumées de combustion pour chauffer l'air de combustion
- Réduit la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer l'air à la température requise pour la combustion
- Améliore l'efficacité de la combustion en assurant une combustion plus complète du carburant
- Taux de pénétration actuel faible



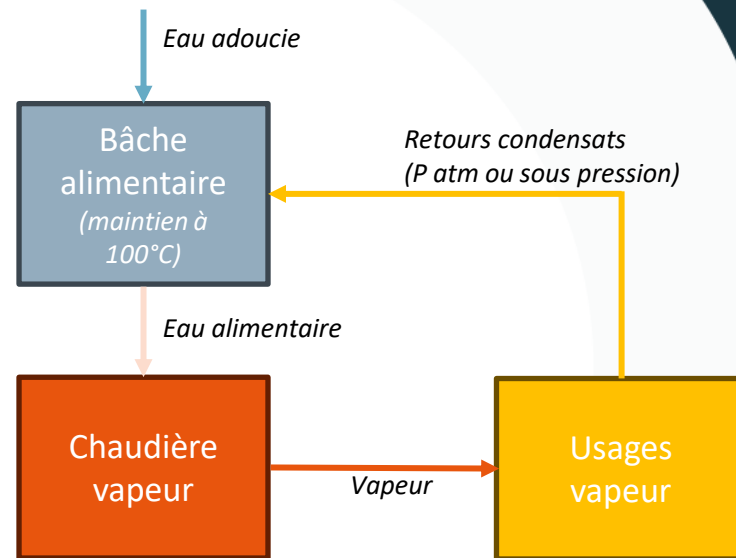
Source Energie +

Gain énergétique moyen	Gisement d'efficacité énergétique (GWh/an)	Gisement d'émissions évitables atteignable de CO2 (kt/an)
3%	1 800	440

Focus sur 2 solutions

L'amélioration des retours condensats

- Taux de pénétration actuel de 50% à 60%
- Retour des condensats en bache
 - Réduit l'apport d'eau brute à traiter
 - Réduit le chauffage nécessaire au maintien en température de la bache alimentaire
- Rentrage sous pression des condensats en bache
 - Permet de valoriser l'énergie de re vaporisation des condensats



Gain énergétique moyen	Gisement d'efficacité énergétique (GWh/an)	Gisement d'émissions évitables atteignable de CO2 (kt/an)
10%	3 090	700

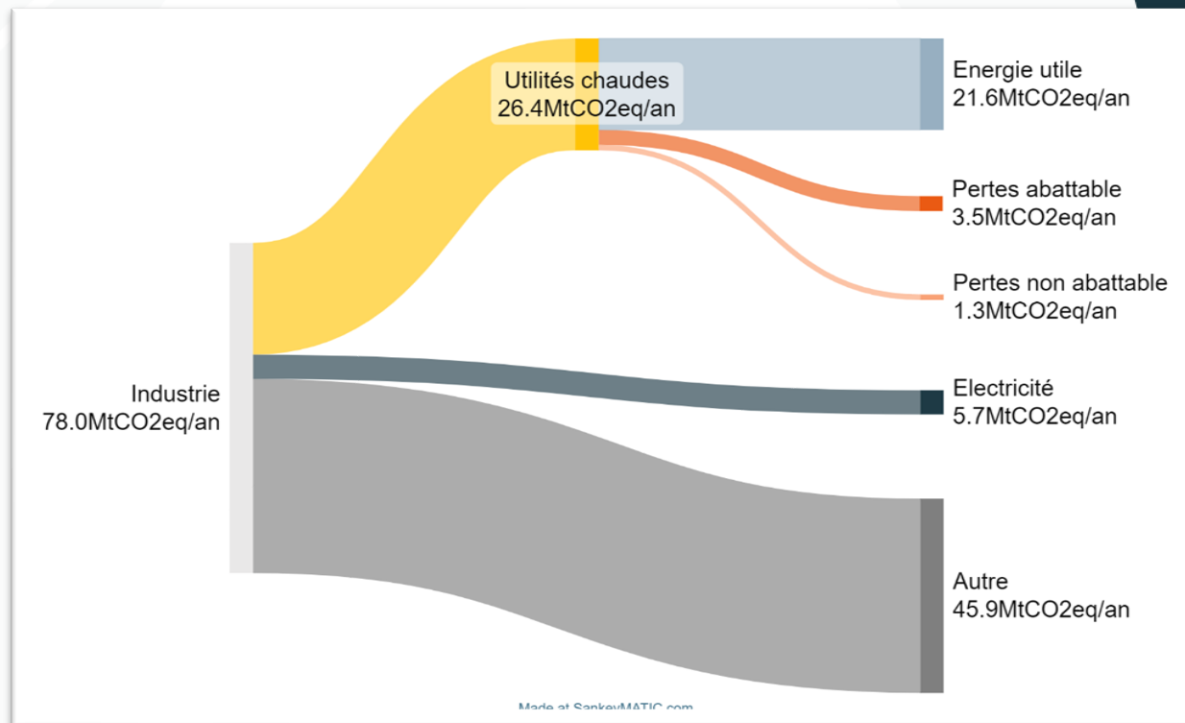
Actions d'économie d'énergie : Réduction des émissions CO2 atteignables et leur coûts de mise en œuvre

- Pertes globales des réseaux en 2015 de 16,5% (combustible, achat et récupération)
- Après mise en place d'actions de performance énergétique sur tous les réseaux industriels français, les pertes globales sur les réseaux pourront être abaissées à 4,5%
- Potentiel de réductions des émissions par la mise en place d'actions d'économie d'énergie 3,5 MtCO₂eq/an
- Nécessite un coût d'investissement de 1 100 Millions d'euros

	Pertes 2015 (GWh/an)	Gisements d'EE atteignables (GWh/an)	Réduction d'émissions atteignables (ktCO ₂ eq/an)	Investissement nécessaire associé (M€)
Production	13 450	8 097	1 916	750
Distribution	7 753	7 221	1 647	356
Total	21 203	15 318	3 563	1 106

Bilan des actions d'efficacité énergétique potentiels sur la production et la distribution des fluides caloporteurs

- Données INSEE 2021
- Poids carbones considérés :
 - Electricité : 52 kgCO₂eq/MWh
 - Mix chaleur produite : 223 kgCO₂eq/MWh
- Poids carbone abattable par les actions d'efficacité énergétique de **3,5 MtCO₂eq/an**
- Autres enjeux de décarbonation
 - Valorisation de chaleur fatale/récupération d'énergie
 - Décarbonation du mix énergétique (EnR ou combustibles bas carbone)



Webinaire "Décarbonation des utilités"

SPIRAX SARCO France

Jonathan Impellizzeri (Strategic account & Business driver)

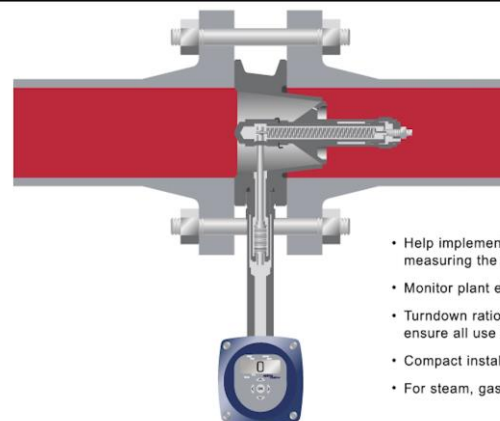




- 1682,6 millions de livres sterling en 2023 (54% Steam)
- Présent dans 165 pays
- 10400 employés
- 2100 Ingénieurs des ventes
- 40 sites de fabrication
- 62 centres de formation
- 17,7 millions de tonnes de CO2 économisées par nos clients en 2022
- 22000 heures de bénévolat enregistrées en 2022
- Réduction de 41 % de nos émissions de gaz à effet de serre * Scopes 1 & 2 market based v



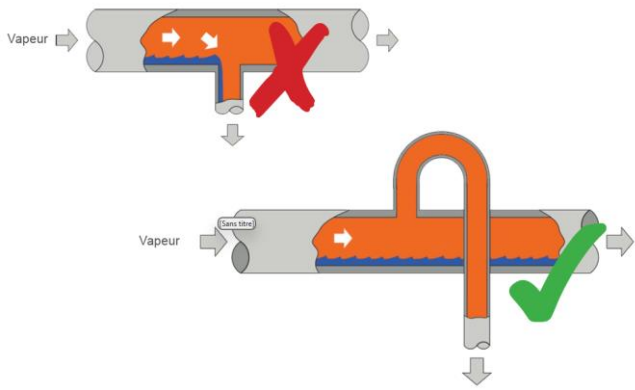
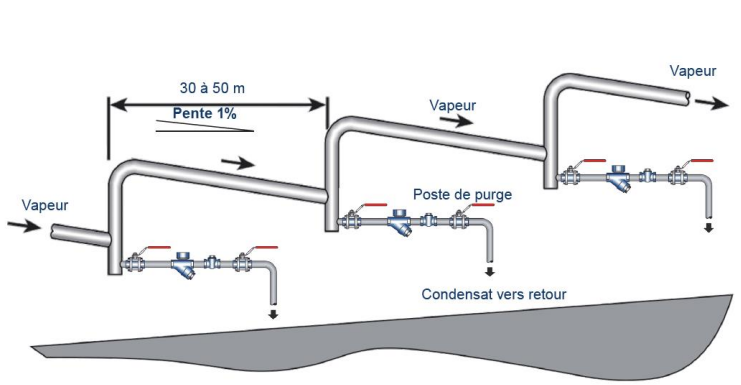
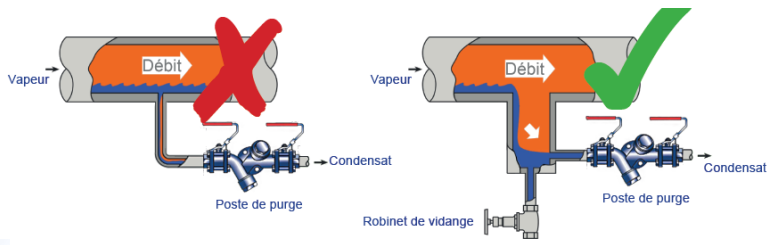
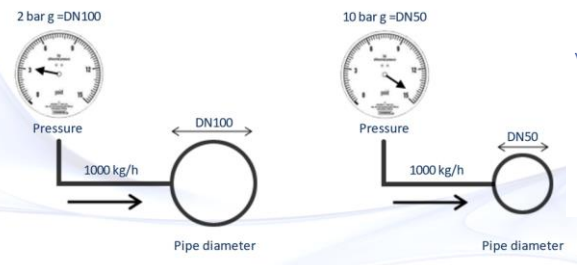
What can be measured, can be managed!



- Help implement cost reduction by measuring the energy you use
- Monitor plant efficiencies
- Turndown ratios up to 100:1 to ensure all use is measured
- Compact installation 6D:3D
- For steam, gasses and liquids

Débitmètre	VLM30	GILFLO ILVA	TVA	TFA	RIM20	Diaphragme ISO5167
Technologie	Vortex	Orifice variable et mesure de DP	Orifice variable et mesure de déplacement	Orifice variable et mesure de déplacement	Turbine à insertion	Orifice Fixe et mesure de DP
Température	280°C	400°C	239°C	239°C	400°C	450°C
Pression	32 bar	102 bar	32 bar	32 bar	102 bar	102 bar
Rangeabilité	Jusqu'à 10 : 1	Jusqu'à 100 : 1	Jusqu'à 50 : 1	Jusqu'à 10 : 1	Jusqu'à 17 : 1	Jusqu'à 5 : 1
Précision	Jusqu'à ±0,9% de la valeur lue	Jusqu'à ±1% de la valeur lue	Jusqu'à ±2% de la valeur lue	Jusqu'à ±2% de la valeur lue	Jusqu'à ±1,2% de la valeur lue	Jusqu'à ±1% de la valeur lue
Eau	✓	✓	✗	✗	✓	✓
Condensat	✓	✓	✗	✗	✓	✓
Liquides visqueux	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Liquides chimiques	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Gaz	✓	✓	✗	✗	✓	✓
Vapeur	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Diamètres	DN25 - 300	DN50 - 300	DN50 - 100	DN25 - 50	DN80 - 600	DN50 - 600
Particularités	Compact, facile à installer	La précision et rangeabilité	Appareil monobloc dédié à la vapeur	Appareil monobloc dédié à la vapeur	Débitmètre à insertion "à chaud" pour les grands débits	Universel et normé

Nous avons les compétences et les outils pour vous accompagner dans le bon dimensionnement de votre installation



traceparts
Product Content *Everywhere*

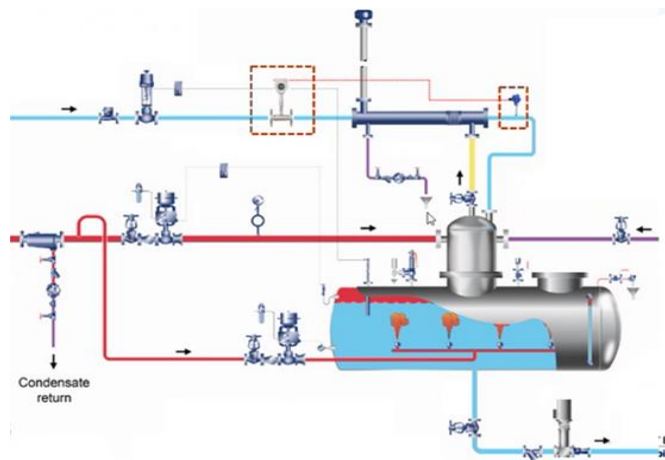
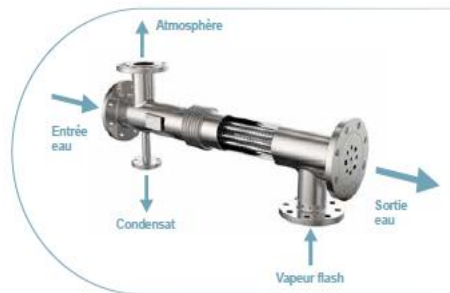
bimstore.co.uk
content, sorted



Steam Tools
Spirax - Sarco Engineering plc
Designed for iPhone
★★★★★ +1.2 Rating
Free



Système de récupération vapeur perdue sur évent atmosphérique



Exemple à titre informatif :

- Condensat issu d'un réseau **vapeur 8 bar eff**
- Débit moyen de condensat : **4 000 kg/h**
- **15% de revaporisation** récupérable par le condenseur
- Soit **639 kg/h** récupérable
- Temps de fonctionnement annuel : **5 000 heures**
- Quantité de vapeur annuelle récupérable : **3 193 Tonnes**
- Coût de la tonne vapeur : **50 €**
- Economie financière annuelle potentielle : **175 800 € /an**
- Economie CO₂ annuelle potentielle : **491 Tonnes CO₂ /an**
- Economie d'eau : **3 193 m³ /an**
- **ROI largement inférieur à 1 an** pour cet exemple



Le coût moyen d'un purgeur en fuite est de 500€ à 1200€ / an!

Capteurs et produits intelligents



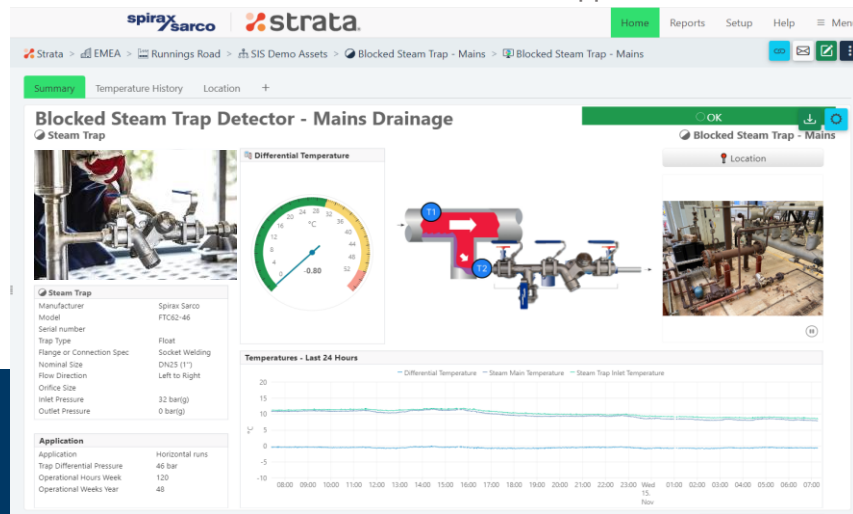
Passerelles et base de données



Expertise & Algorithme



Tableau de bord et rapport



MERCI

SPIRAX SARCO France

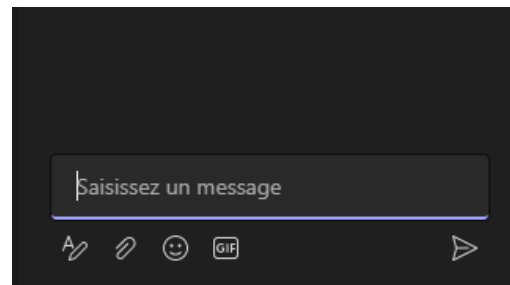
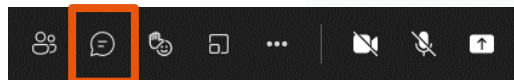
Jonathan.Impellizzeri@fr.Spiraxsarco.com

06 08 75 10 91

(Strategic account & Business driver)



Posez vos questions !



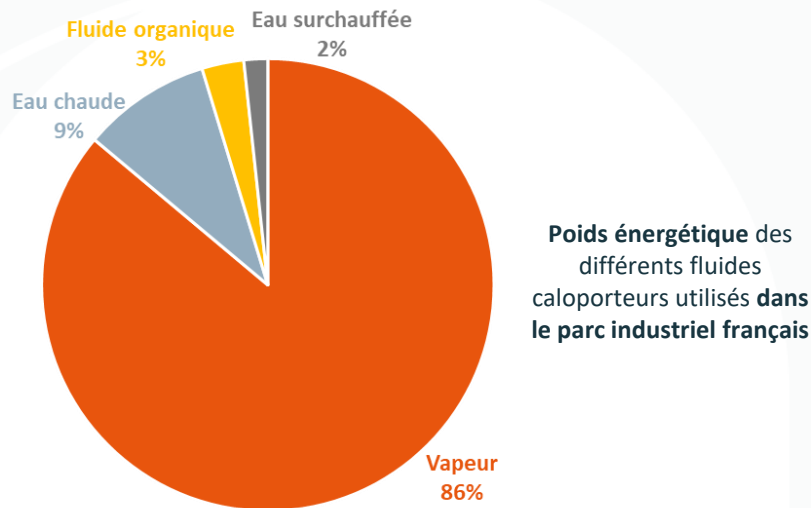
Présentation de la méthodologie générale et des 3 cas d'études

Sommaire

- Périmètre
- Méthodologie
- Hypothèses globales
- Sélection / Définition des cas d'études

Périmètre

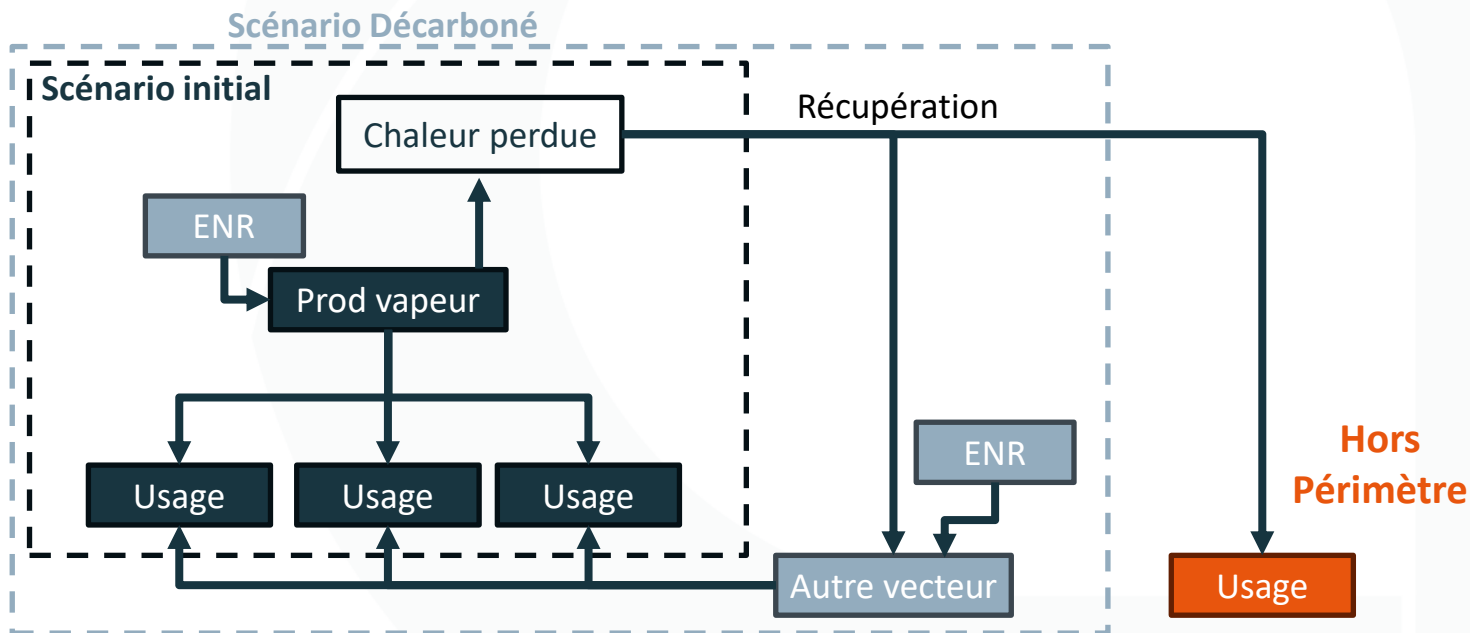
- Travail sur la vapeur
 - Le plus gros enjeu énergie



- Uniquement les émissions de CO2 liées aux consommations d'énergie
 - SCOPE 1, 2 et 3
- Exclusion des cogénérations
 - Trop spécifiques

Périmètre

- On ne considère que les améliorations qui bénéficient aux usages sélectionnés.



Méthodologie



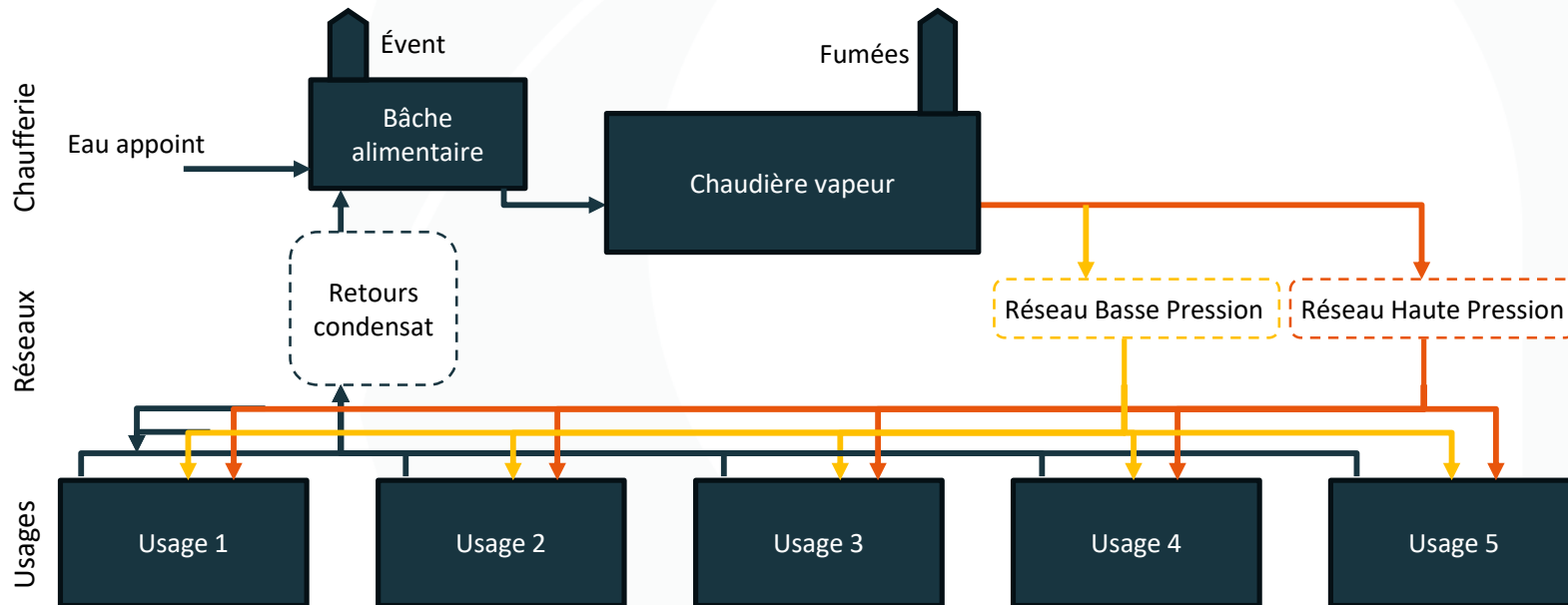
Méthodologie

Définition du modèle de référence

- Usages
 - 5 maximum
 - T°, taux de retour condensat, besoin énergie...
- Distribution
 - Maximum 2 réseaux vapeur (haute et basse pression) et un retour condensat
 - Pressions, Longueur, isolation, purgeurs...
- Production (de vapeur)
 - Bâche alimentaire (pression)
 - Générateur de vapeur (combustible, rendement, récupération sur les fumées...)

Méthodologie

Définition du modèle de référence



Méthodologie

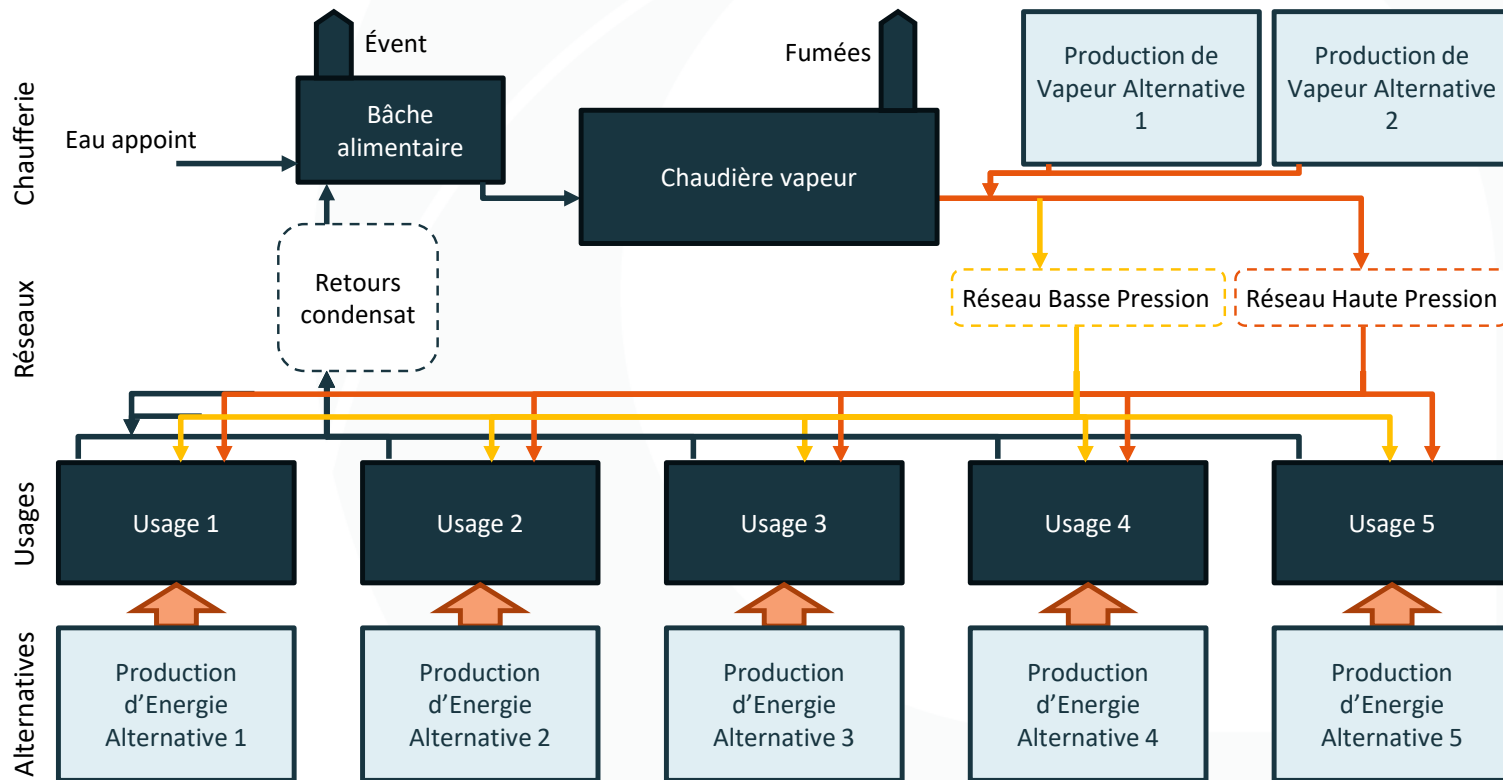
Définition d'un scénario décarboné

- Priorisation des actions
 - Efficacité énergétique
 - Récupération de chaleur
 - Énergies renouvelables
- **Attention :**
 - L'idée n'est pas de faire une usine idéale, mais de développer un scénario possible amenant à la réduction des émissions des CO2.

◦ Changement d'utilité

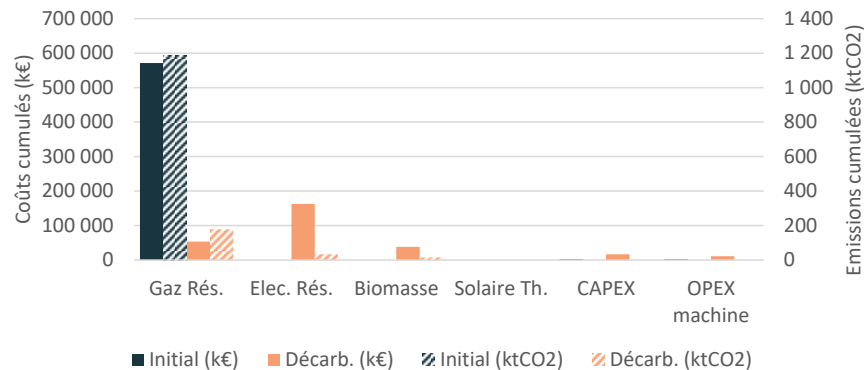
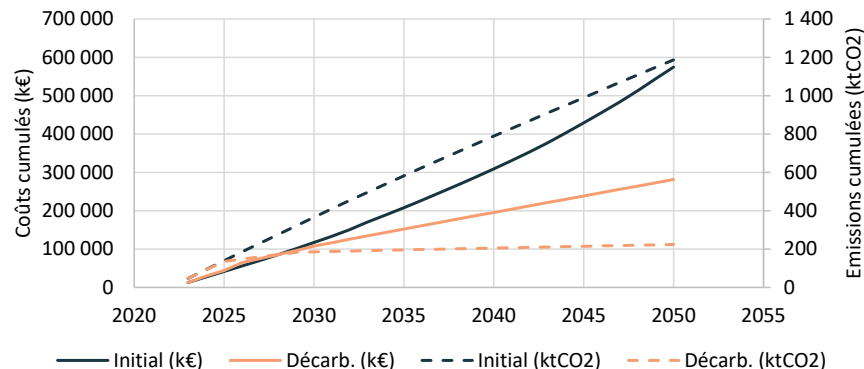
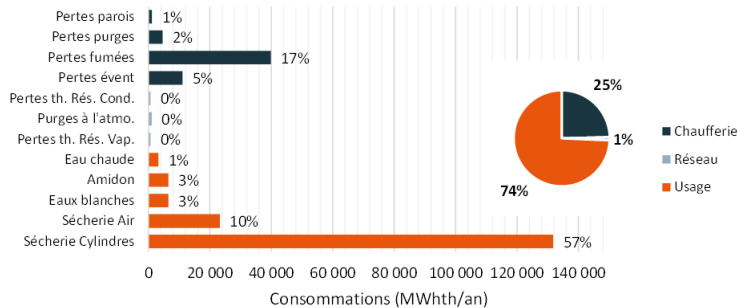
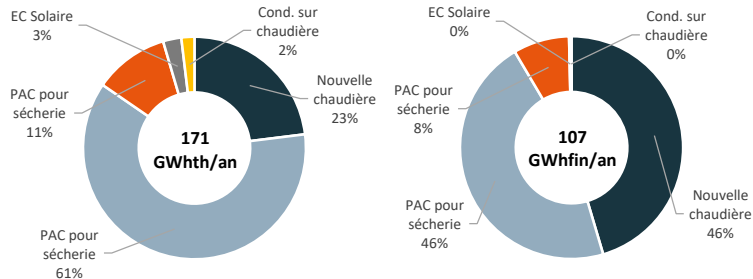
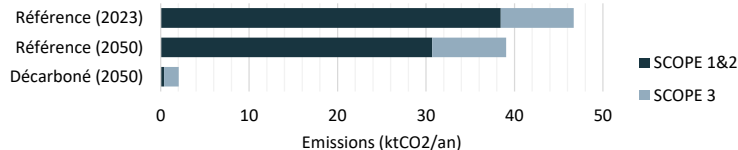
Méthodologie

Définition d'un scénario décarboné



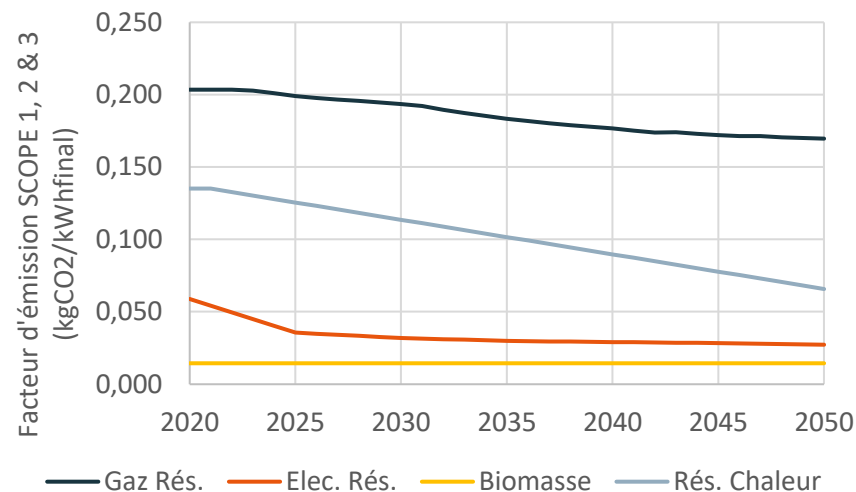
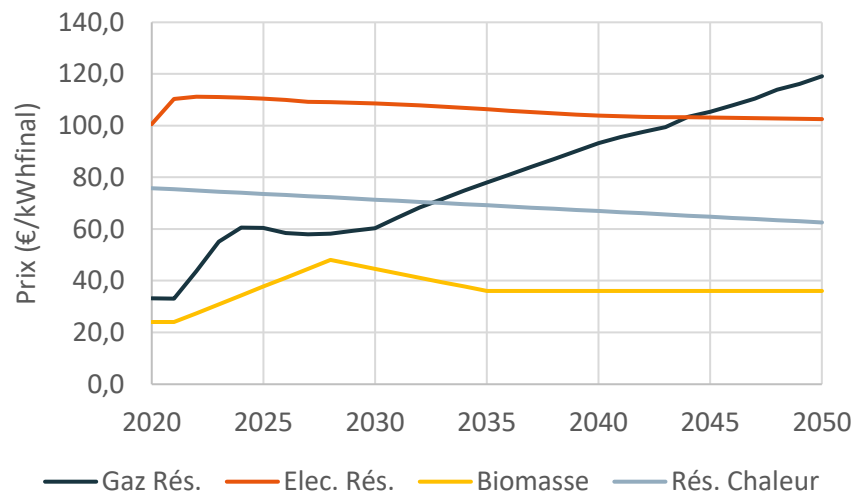
Méthodologie

Analyse des résultats



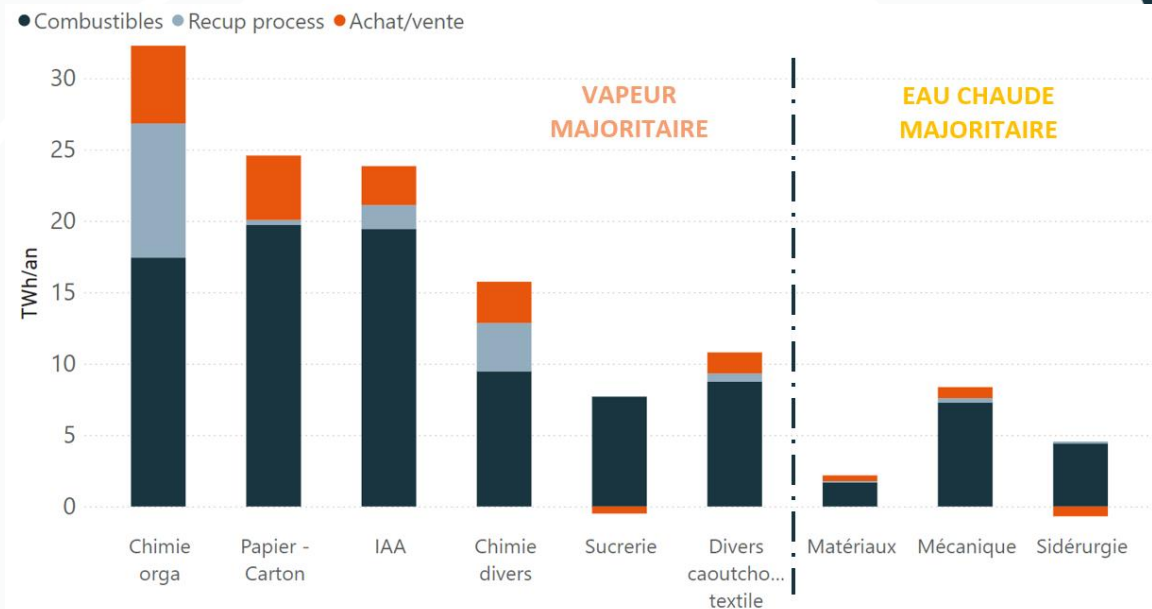
Hypothèses globales

- Les coûts et facteurs d'émissions des énergies
 - Basés sur les hypothèses prises pour l'étude ALLICE#19 (DCS)
 - Moyennes sur les scénarios gris et bleu pour électricité et gaz
 - Moyennes sur les scénarios bleu et vert pour Biomasse et Rés. Chaleur



Sélection / Définition des cas d'étude

- 3 secteurs les plus consommateurs :
 - Chimie
 - Papier/Carton
 - Agroalimentaire



Les différentes sources d'énergie apportées au fluide caloporteur par secteurs d'activité

Sélection / Définition des cas d'études

- **Papier/Carton**

- Usine type de production
- Usages : Sécherie, Eau blanche, Amidon, Eau chaude

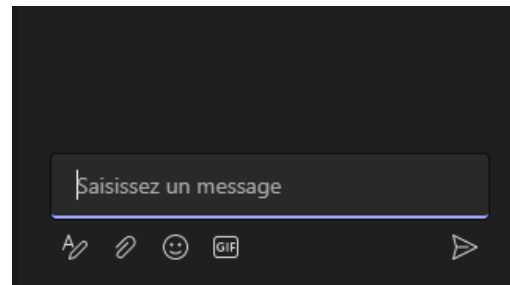
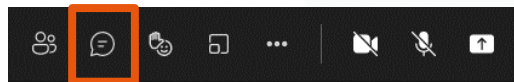
- **Chimie**

- Création d'un cas regroupant les usages les plus fréquents
- Usages : Réacteurs, Stripping, Distillations, Séchage, Eau chaude

- **Agroalimentaire**

- Création d'un cas basé sur un adhérent
- Usages : Pasteurisateur, Stérilisateur, Nettoyage en Place (NEP), Étuves, Centrale de Traitement d'Air (CTA)

Posez vos questions !



Le Centre Technique du Papier...



... au cœur de l'innovation de la Cellulose Vallée !

Le CTP

Le CTP, tout un centre technique industriel... au service de son industrie !

Une **STRATEGIE** : Créer de la valeur pour renforcer l'industrie papetière et sa filière implantée en France

Un DEFI permanent

- Contribuer à l'évolution des produits
 - Nouveaux marchés en développant des fonctionnalités du papier qui ne sont pas valorisées aujourd'hui
 - Nouvelles technologies dans les procédés
- Préserver | Renforcer les débouchés dans la filière aval
 - Imprimerie et Transformation

Comment?

- **Recherche Industrielle** de pointe, Prospective & Innovation
- Transmission des résultats de la recherche, à travers le **Conseil & Expertise, les Prestations et la Formation**
- Services, analyses, essais et études confidentielles

Chiffre
d'affaires
et TFA (Taxe Fiscale Affectée)

10,6 M€

122 COLLABORATEURS

FEMMES  **61 ET 61**  HOMMES

105 OPÉRATIONNELS ET 17 SUPPORTS

Pôles d'excellence à la pointe de l'innovation



PÔLE MATÉRIAUX BIOSOURCÉS

- Fibres et chimie du végétal
- Traitement des fibres
- Structuration de la matière



PÔLE PRODUITS FONCTIONNELS

- Traitement de surface
- Procédés d'impressions



PÔLE PRODUCTIONS ÉCO-RESPONSABLES

- Industrie durable
- Bioéconomie circulaire
- Usine du futur



PÔLE APTITUDES & QUALIFICATIONS

- Quatre laboratoires
- Contact alimentaire
- Aptitude à la transformation
- Performance des produits

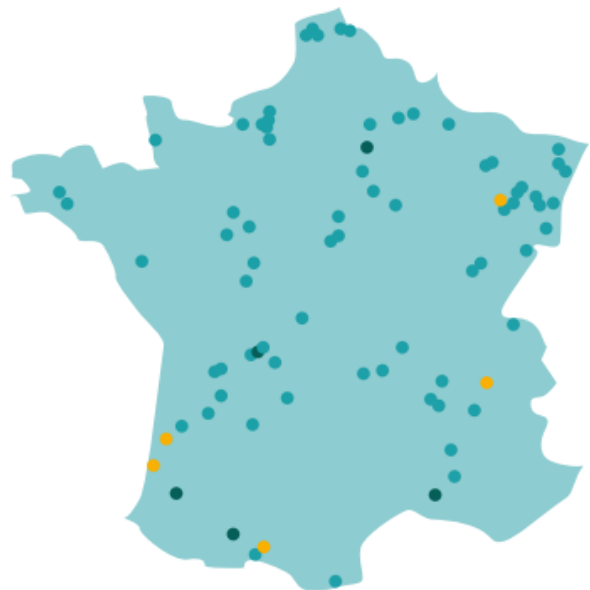


PÔLE BUREAU D'ÉTUDES ET SERVICES TECHNIQUES

- Conception & Réalisation
- Travaux neufs & Maintenance
- Capteurs



Eléments clés de l'industrie du papier-carton



● Usine de pâte

● Usine de papiers
et cartons

● Usine de pâte, papiers
et cartons



82 usines

72 entreprises de tailles différentes

120 machines à papier

Copacel, 2021



5^{ème} producteur de l'UE

1,5 Mt pâte à papier / an

7,5 Mt papiers-cartons / an

Copacel, 2021



Pâte à papier = marché mondial

UE = 55% des importations

UE = 55% des exportations

Copacel, 2021



71 % contenu recyclé

Part des matières premières recyclées sur
tonnes papiers

Copacel, 2021



2 Mt CO₂e fossile

3% des émissions de GES industrielles

-15% entre 2015 et 2021

Copacel, 2021



0,25 t CO₂ / t papier

[0,2 – 0,6 tCO₂ / t] selon les segments

Copacel, 2021



Papiers-cartons = marché UE

UE = 95% des importations

UE = 80% des exportations

Copacel, 2021



10 000 emplois directs

Copacel, 2021



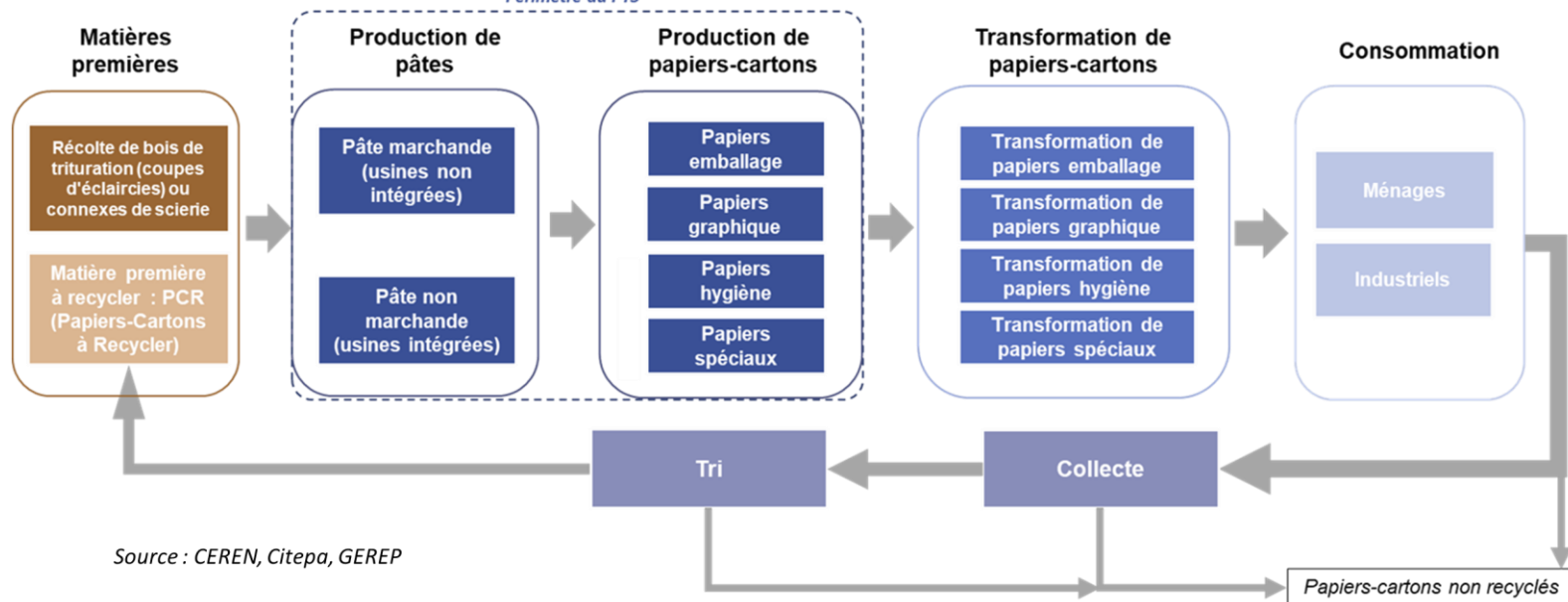
Décarbonation de l'industrie du papier-carton

Consommations de vapeur
1400 à 2800 kWh/t
80% à 95% par les
cylindres sècheurs

- ~85% de la consommation énergétique
- ~80% des émissions du secteur

Consommation d'électricité
400 à 1200 kWh/t
93% du réseau
7% autoproduite

Périmètre du PTS

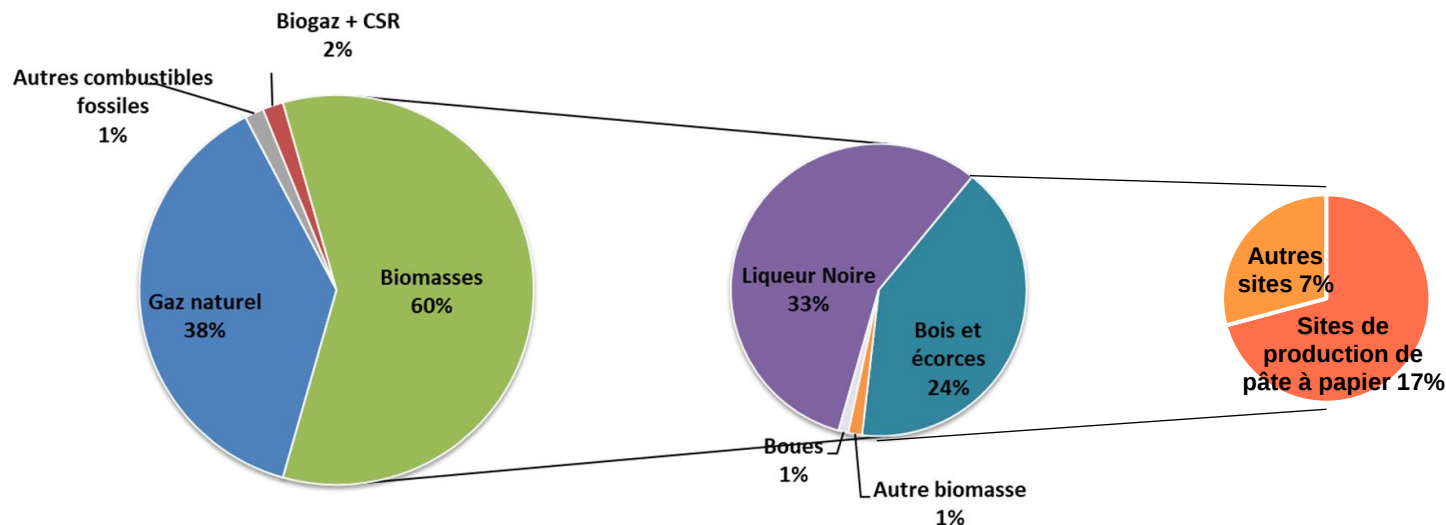


Source : CEREN, Citepa, GEREP

Décarbonation de l'industrie du papier-carton

L'enjeu principal : décarboner la production de chaleur

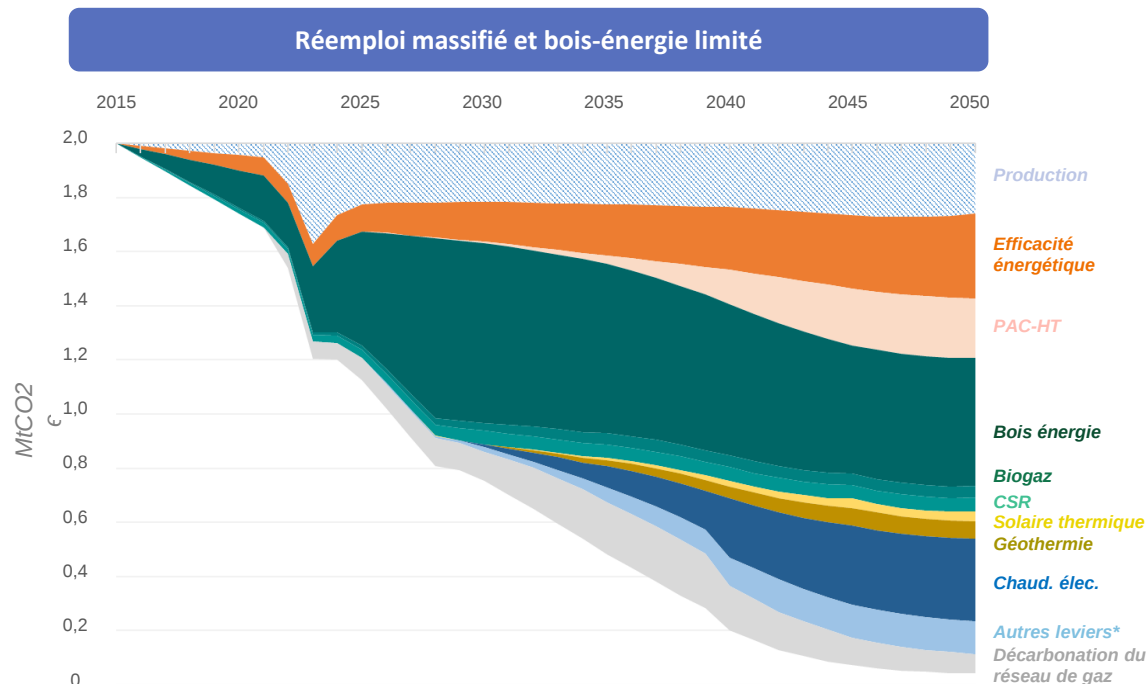
Mix thermique de l'industrie papetière en 2022



Source : COPACEL (2022), CEREN (2016)

Décarbonation de l'industrie du papier-carton

Scenario 1: objectif atteint par la complémentarité des leviers



*Raccordement UVE, Hydrogène, Valorisation de sous-produits (pâte à papier)

- 98%

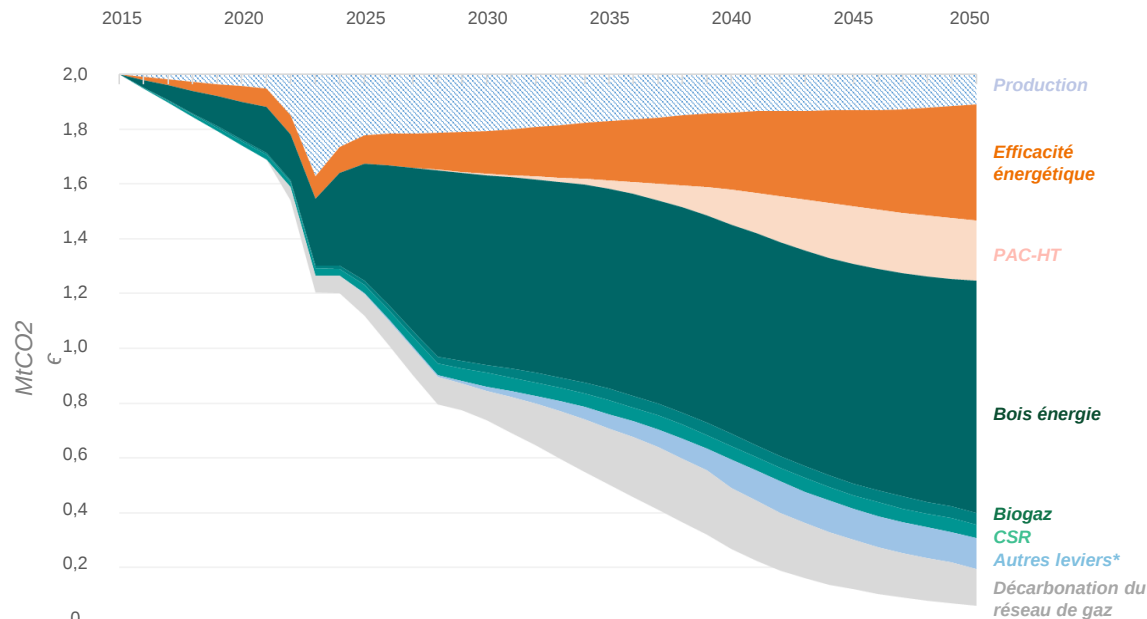
de réduction de GES en 2050
(- 64% en 2030) vs 2015

Une décarbonation atteinte surtout par le changement de combustibles de chaudières, qui vient compléter les effets de baisse de production et de gains d'efficacité énergétique

Décarbonation de l'industrie du papier-carton

Scenario 2: objectif atteint surtout par le recours au bois-énergie

Innovations papier et bois-énergie développé



- 98%

de réduction de GES en 2050
(- 64% en 2030) vs 2015

Une décarbonation atteinte surtout par le changement de combustibles de chaudières, complémenté par des gains d'efficacité énergétique (y.c. PAC-HT)

*Raccordement UVE, Hydrogène, Valorisation de sous-produits (pâte à papier)



ValoPAC

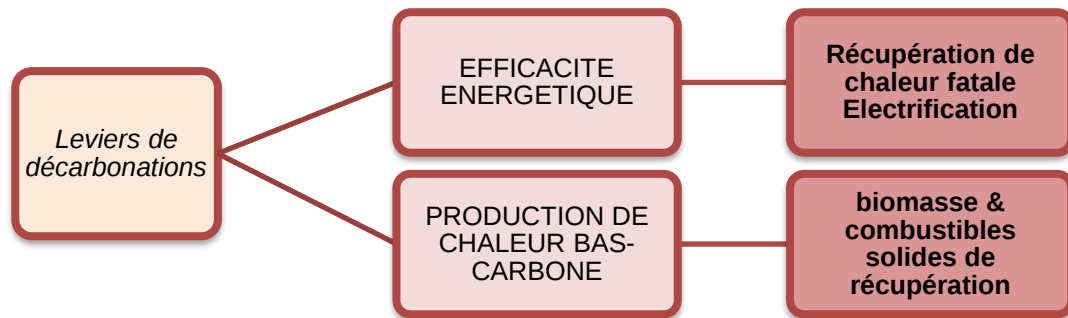
Récupérer et valoriser le flux de chaleur fatale au
moyen de pompe à chaleur hautes températures

Hugo Ceyte

Motivation



- **Gisement global de chaleur fatale du secteur papetier français estimé à plus 7,5 TWh**
 - Buées de sécherie = gisement de chaleur prioritaire
 - Forte accélération du développement des PAC HT ces dernières années (température > 100/120 °C = production de vapeur)
- **Feuille de Route décarbonation COPACEL de la filière Papier Carton (03/2022)**
 - réduction de 39 % des GES en 2030 par rapport à 2015
- **Plan de Transition Sectoriel de l'ADEME (04/2024)**
 - réduction de 98 % des GES en 2050 par rapport à 2015



PAC-HT

Objectifs du projet ValoPAC



- **L'objectif est de fournir les éléments nécessaires à la prise de décision pour un investissement dans une PAC-HT. Cet objectif se traduit par les sous-objectifs suivants :**

Définir les gisements les plus pertinents et leurs caractéristiques

Identifier les différentes technologies et les fabricants de PAC-HT.

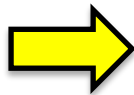
Collecter des informations sur ces technologies (puissance, plage de températures entrée et sortie, coefficient de performance, fluide de travail, contraintes de fonctionnement, encombrement, maintenance, prix, etc.) et identifier les plus adaptées.

Etude technico-économique intégrant les différents paramètres (montant de l'investissement, COP, durée de fonctionnement, coûts des énergies (y.c. les contributions, abattements et exonérations appliqués)) pour un site exemple.

Références et prototypes

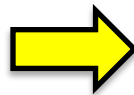
Projets EU

Push2HEAT, Weissenborn Allemagne



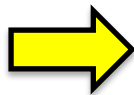
- Source froide: buées sécheries (30-50 °C)
- Génération de vapeur à 2,2 bar
- Thermocompresseur en + pour vapeur 5,5 bar

Push2HEAT, Guarcino, Italy



- Source froide: eau de refroidissement de la centrale cogénération (70-90 °C)
- Génération de vapeur à 0,8 et 2,3 bar.
- Thermocompresseur en + pour vapeur 5,5 bar

*SPIRIT, Smurfit Kappa Morava
Paper, Tchéquie*



- PAC en sécherie
- Vapeur 5 bar

Références et prototypes

TransPAC, EDF Wepa Greenfield (avril 2023)

Projet TRANSPAC

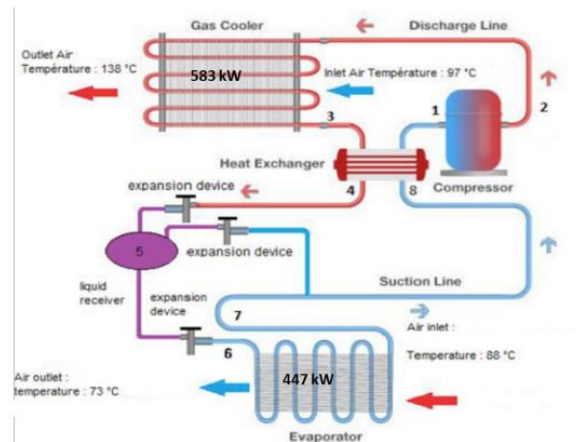


Subventionné par



- Fluide: CO2
- Chauffage air insufflation sécherie.
- COP = 4
- 5,2 GWh/an d'énergie fossile 1,2 GWh/an d'électricité
- 1000teq CO2/an en moins

- **Première démonstration industrielle** d'une PAC transcritique à l'échelle 1 (600 kW) sur un sécheur industriel
- Site industriel : société **WEPA Greenfield** (Château-Thierry)
- Objectif technique : **chauffer l'air neuf entrant de 97°C à 140°C avec un COP proche de 4**
- Durée du projet : **5,5 ans** dont 9 mois d'exploitation expérimentale
- **Mise en service début 2023** et 1^{er} REX pour S2 2023
- **1000 tonnes de CO2/an évitées**



Références et prototypes

Turboden - 2024

PROJECT FEATURES

- Industrial application: Pulp & Paper
- Project Name: UNDISCLOSED
- Client: UNDISCLOSED
- Country: Northern Europe
- Status: under construction
- Size: 12 MWth

TECHNICAL FEATURES

- Turboden scope: EPC (LHP + MVR)
- Delivery: Steam @2.4 bar,g (superheated at 170 °C)
- Centrifugal compressor from MHI
- LHP working fluid: Isobutane

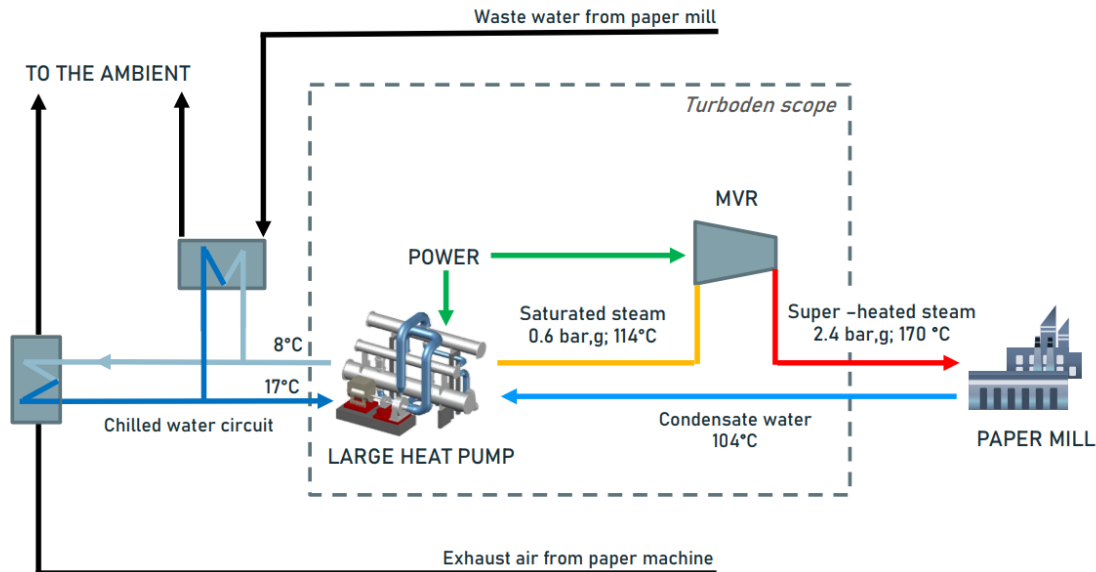


Schéma d'intégration de la PAC Turboden dans une usine de pâte & papier (source: Turboden)

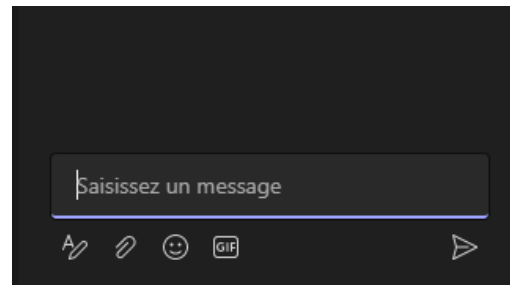
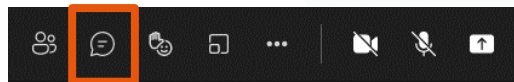
Programme ValoPAC



- **Veille des technologies de PAC-HT mises sur le marché**
- **Etude de cas en cours avec un site papetier français**
- **Webinaire de présentation prévu septembre/octobre 2024**



Posez vos questions !



Étude de cas papier/carton

Sommaire

- Situation de référence
 - Définition
 - Bilan
- Situation décarbonée
 - Définition
 - Bilan
- Analyse

Situation de référence

Définitions des usages

- Les usages



	Sécherie Cylindre	Sécherie Air	Eaux blanches	Amidon	Eau chaude
Température (°C)	135	120	50	90	50
Besoins de vapeur (MWh/an)	131 750	23 250	6 479	6 479	3 240
Retour condensat	100%	100%	100%	0%	100%

Situation de référence

Définitions des utilités

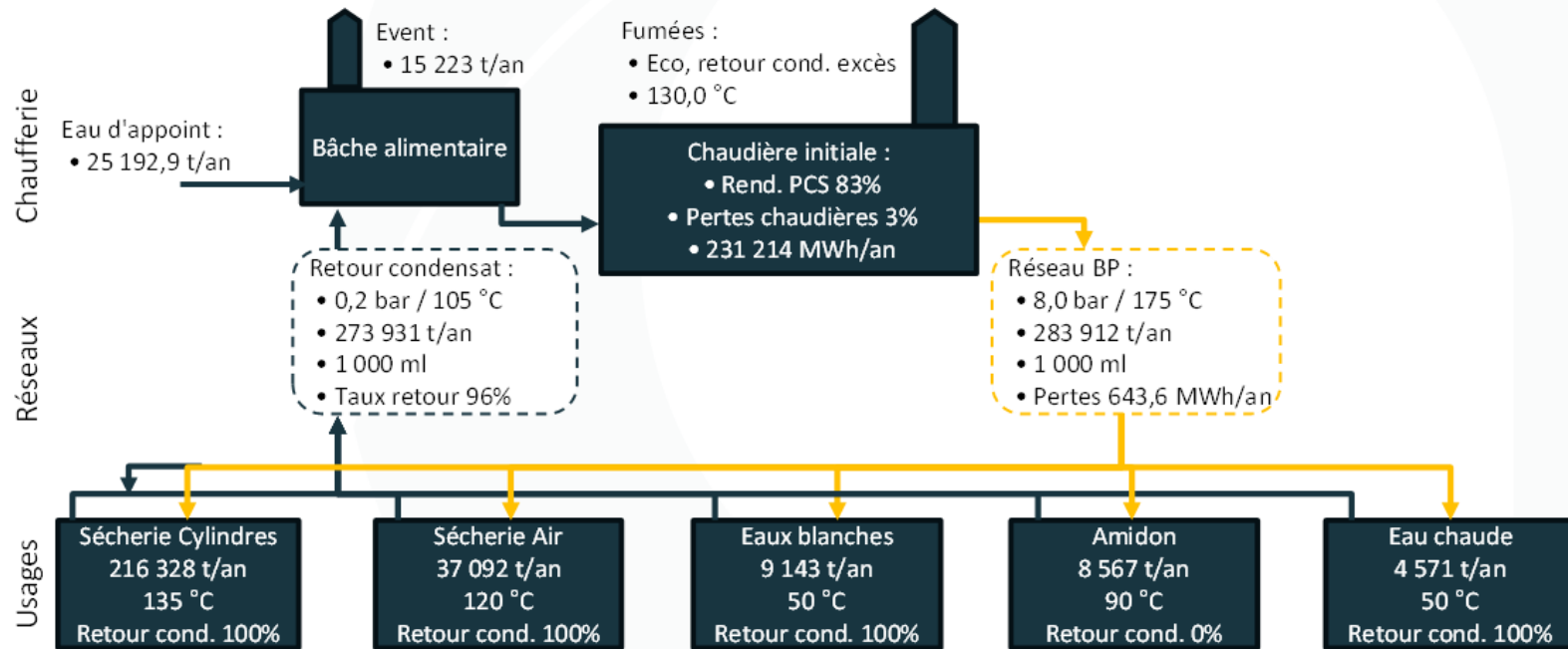
- Des réseaux vapeur plutôt bien entretenus et bien isolés

Chaudière	
Combustible	Méthane
Optimisation	Éco, retour cond. chaud
Rendement PCS	82,8%
Rendement PCI	91,9%

Réseaux	Vapeur	Condensat
Pression (bar rel.)	8	0,2
Longueur tuyauterie	1 000 ml	1 000 ml
Taux isolation	100%	90%
Taux perte par purgeurs fuyards	2%	2%

Situation de référence

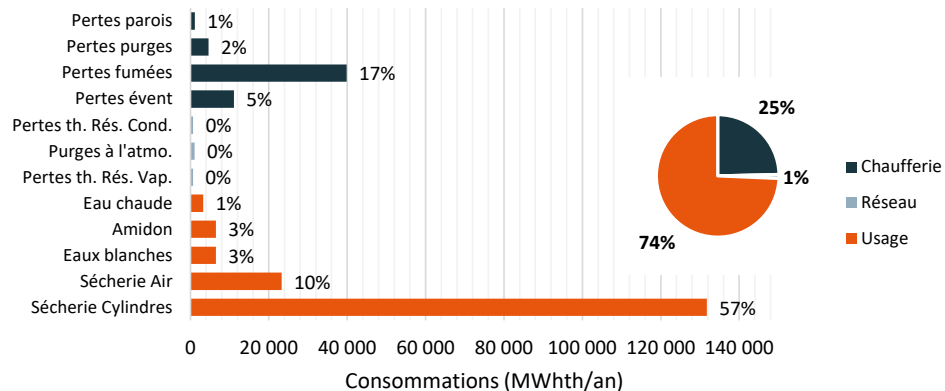
Modèle



Situation de référence

Bilan

- Répartition des consommations



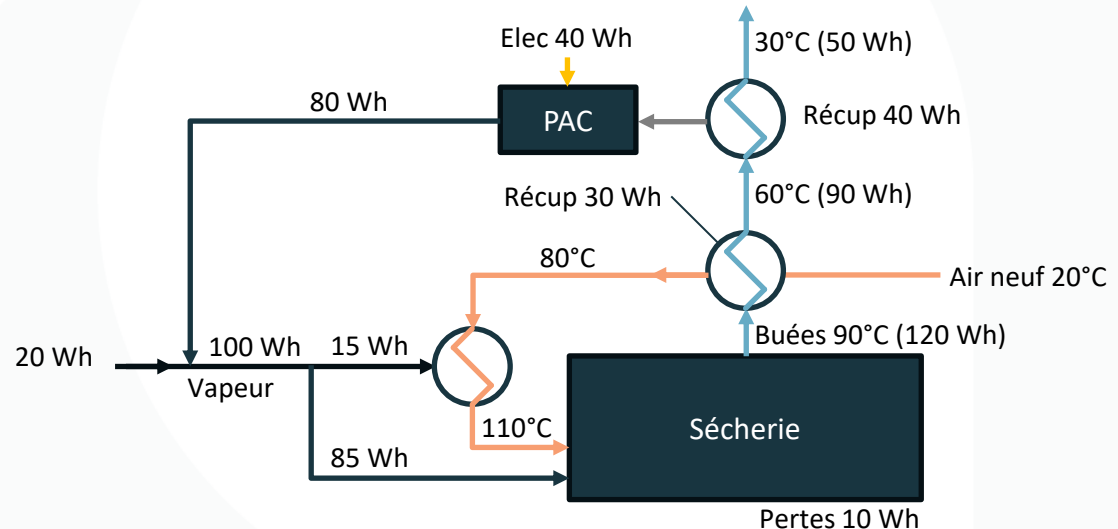
- Répartition des apports d'énergie



Situation décarbonée

Les usages

- Pas d'action d'efficacité énergétique sur les usages actuels
 - Changement de vecteur et de sources
- Petit focus PAC THT sur la sécherie
 - COP : 2,13



Situation décarbonée

Les usages

Nom	PAC pour sécherie	Solaire thermique pour eaux blanches	Économiseur sur chaudière pour eau chaude
Année d'installation	2026	2024	2024
Type de système	PAC + CMV	Solaire thermique	Récup. Chaleur fatale
Couverture du besoin	80%	70%	100%
Rendement	213%	2 000%	2 000%
Énergie finale	Elec. Rés.	Elec. Rés.	Elec. Rés.

- Pas d'action pour l'amidon

Situation décarbonée

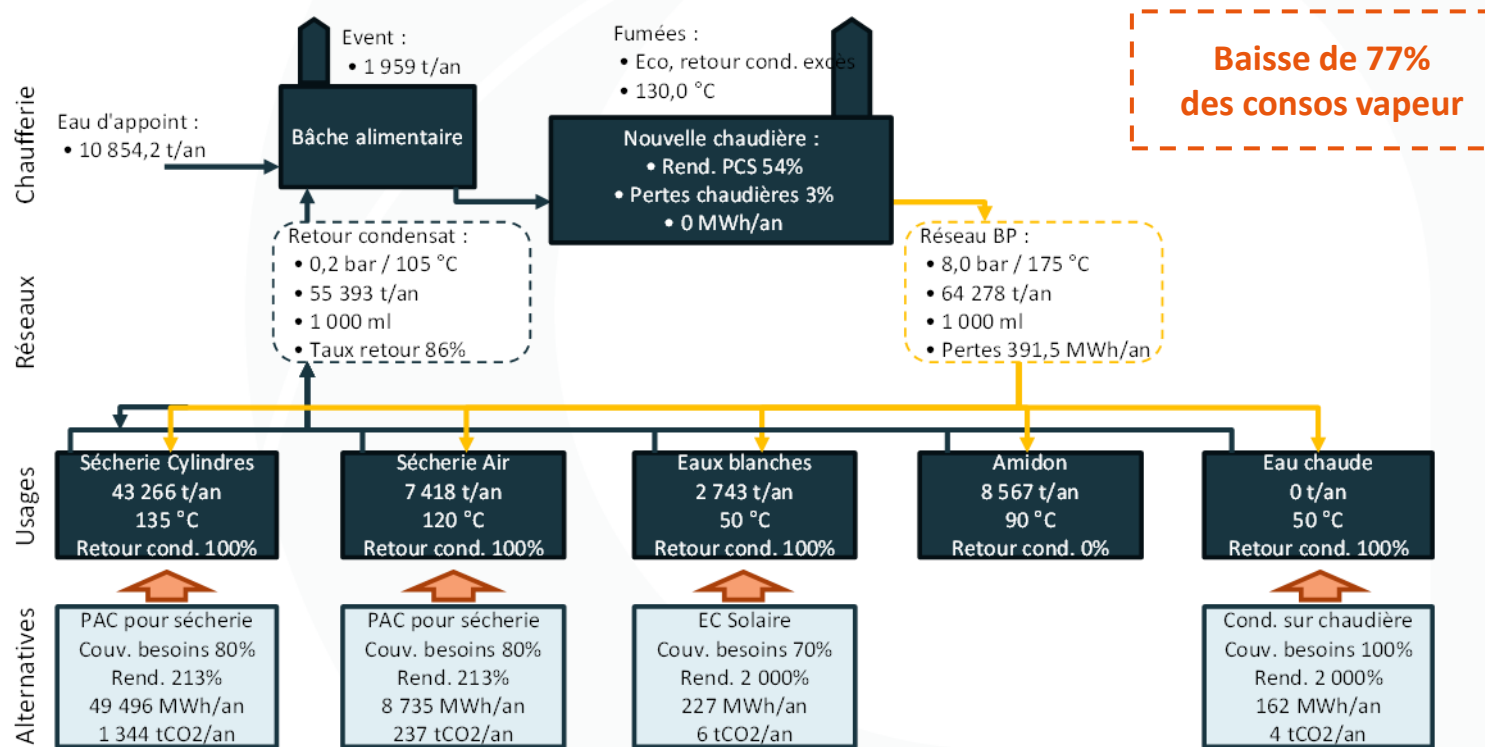
La production de vapeur

- Passage en biomasse

Chaudière	
Année	2030
Combustible	Biomasse
Optimisation	Éco, retour cond. chaud
Rendement PCS	54,4%
Rendement PCI	88,6%

Situation décarbonée

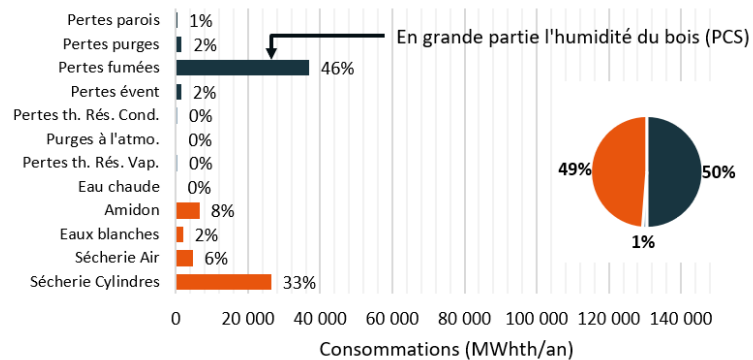
Modèle



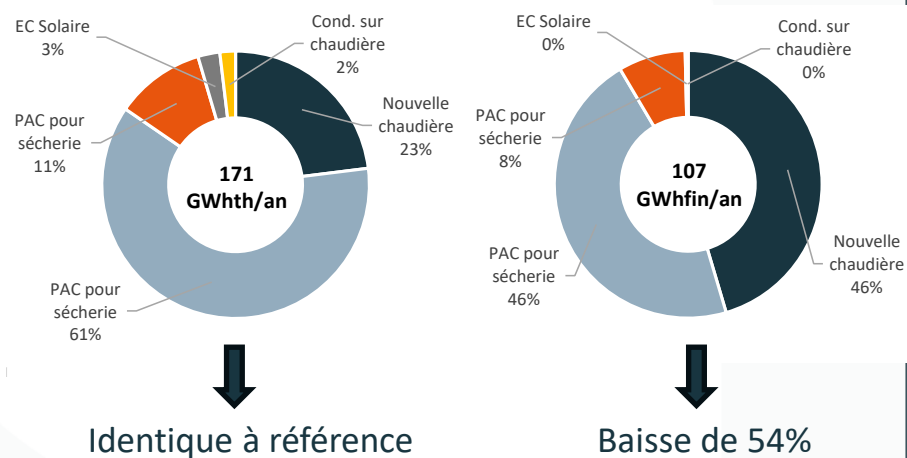
Situation décarbonée

Bilan

• Répartition des consommations



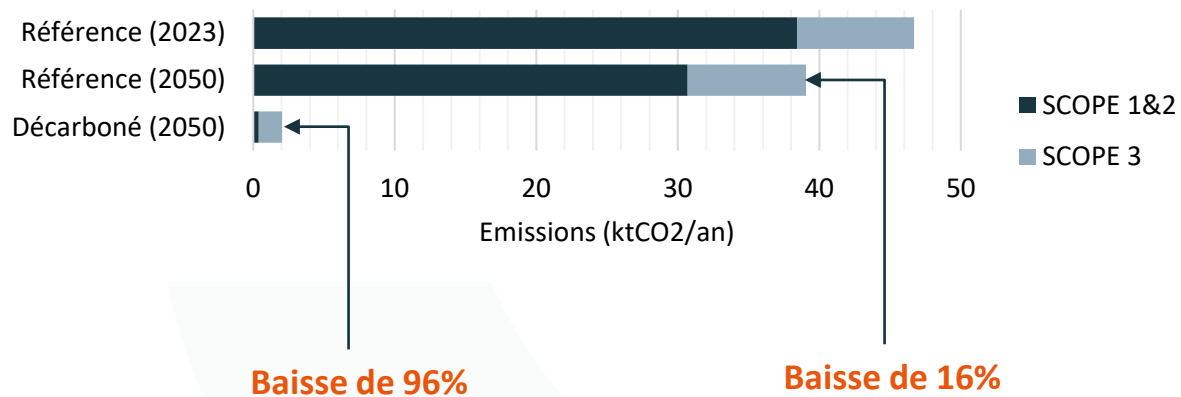
• Répartition des apports d'énergie



Analyse

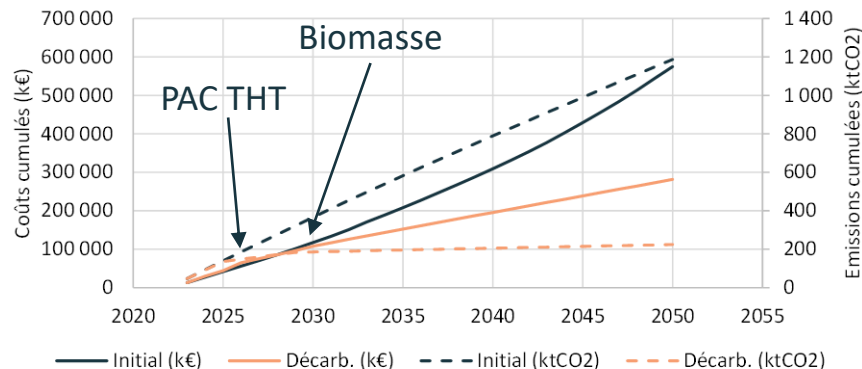
Émissions annuelles

- Comparaison avec et sans actions

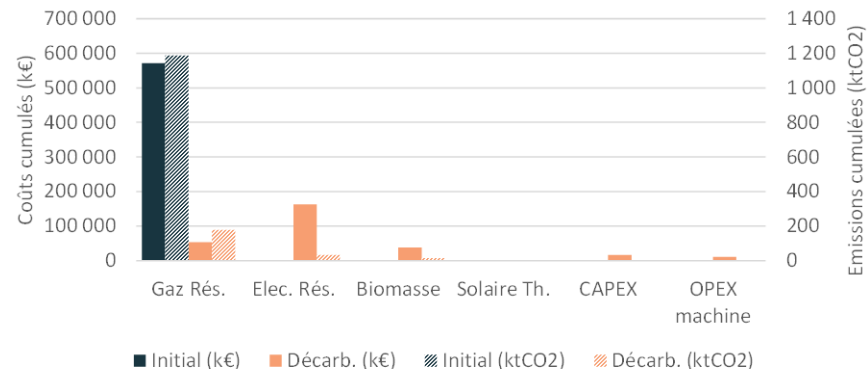


Analyse

Cumul des coûts et émissions



- Évolution des cumuls
- En 2050 :
 - Réduction de 51% des coûts
 - Réduction de 81% des émissions



- Répartition des cumuls
 - Gaz résiduel : 78% des émissions
 - CAPEX/OPEX (machine) : < 10%

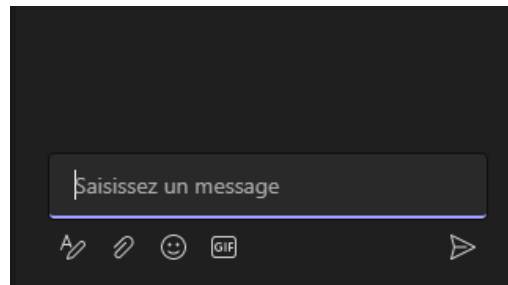
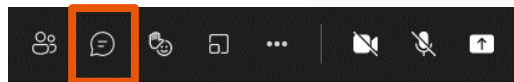
Principales conclusions des cas d'études

- Un grand nombre d'usages peuvent se passer de vapeur.
 - Pour le reste, il existe des solutions
- La production de vapeur décarbonée peut se faire de multiples façons
 - Chaque cas sera unique →
 - Certaines solutions nécessitent encore un peu de développement (PAC THT)
- Globalement :
 - Plus de 85% de réduction des émissions annuelles de CO2
 - Gains financiers systématiques, entre 20 et 50%
 - CAPEX et OPEX machine entre 5 et 20% des couts globaux

Priorisation de l'ADEME

- 1) Énergie non délocalisable déjà existante
- 2) Énergie non délocalisable à créer
- 3) Énergie délocalisable à créer

Posez vos questions !



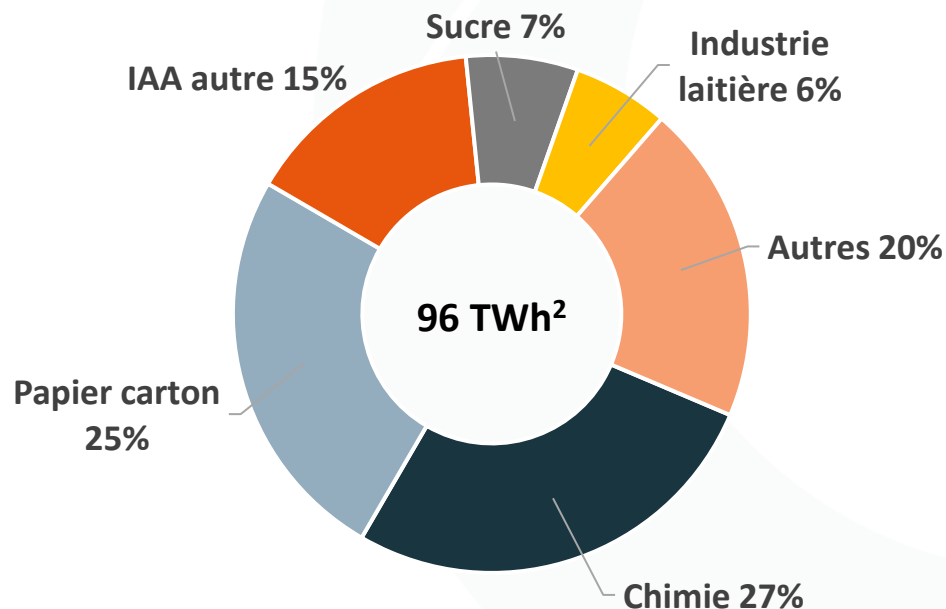
Synthèse et perspectives sectorielles

Phase 3 sommaire

- Segmentation des secteurs et hypothèses générales
- Méthodologie
- Analyse d'un secteur spécifique : la chimie
- Synthèses des résultats multi secteurs
- Enseignements et points d'attention

Segmentation des secteurs : analyse détaillée pour 5 secteurs principaux, extrapolation aux autres

L'industrie consomme 96 TWh de chaleur par an, avec pour secteurs les plus consommateurs la chimie, le papier-carton et l'IAA



Les résultats pour le secteur « Autres »³ ont été déduits à partir des résultats obtenus dans les 5 autres secteurs.

Notes : [1] IAA: Industrie Agro-Alimentaires. [2] Production des utilités chaudes avec combustibles en 2015. Ce chiffre reste valable en 2020 (très faible variation de la consommation totale d'énergie en France entre 2015 et 2020) [3] Autres : divers caoutchoucs et textile ; mécanique et matériaux ; industrie lourde.

Sources : CEREN 2015

Hypothèses technico-économiques communes

Rendement et CAPEX utilisés

	Rendement	CAPEX
Chaudière gaz	90 % (PCI)	300 €/kWth
Chaudière biomasse	87 % (PCI)	1200 €/kWth
PAC HT ¹	250 %	1000 €/kWe
Récupération de chaleur fatale	100 %	3000 €/kWe
Résistance	100 %	280 €/kWe
RMV ²	500 %	4000 €/kWe
Moteurs électriques	95 %	200 €/kWe

Notes : [1] Un COP de 2,5 a été utilisé pour tous les secteurs sauf pour le papier carton (COP de 2,1 car températures plus élevées). [2] RMV : Recompression Mécanique de Vapeur

Sources : Études ALLICE ; CETIAT ; échanges avec des experts (ADEME)

Méthodologie suivie pour chaque secteur

Une méthodologie en trois temps est prise pour les 5 secteurs principaux (Chimie, Papier carton, IAA, Sucre et Lait)

1. Définition d'un **scénario de référence** (2020-2050) sans initiative supplémentaire
2. Sélection des **leviers de décarbonation** pour le scénario décarboné (e.g. efficacité énergétique, électrification, etc.)
3. Calculs des **émissions de CO₂** sur la période 2020-2050, des **CAPEX/OPEX** et de la **consommation électrique** supplémentaire liée à l'électrification

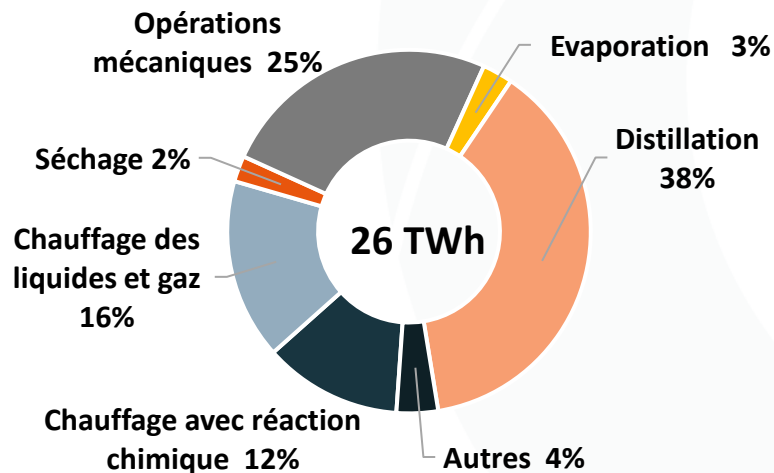


Les résultats pour le secteur « Autres » ont été extrapolés à partir des résultats obtenus dans les 5 autres secteurs

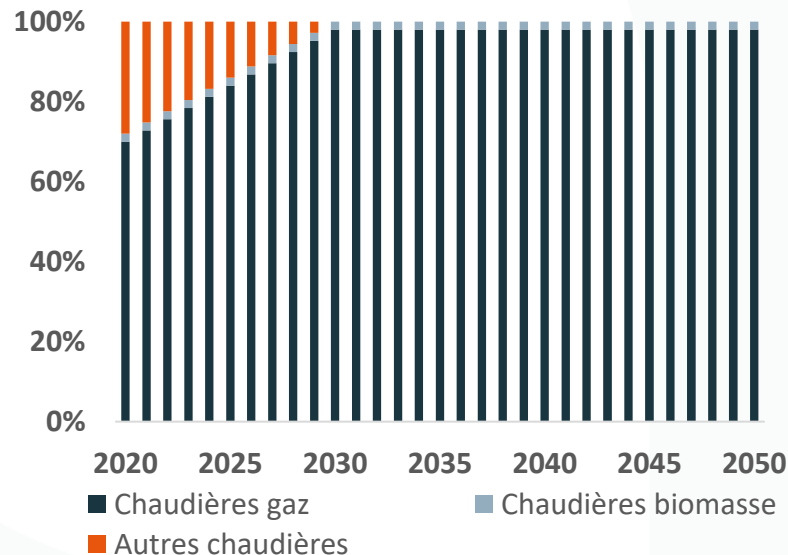
Secteur chimie — Étape 1 : scénario de référence

Les différents procédés chimiques consomment 26 TWh/an d'utilités chaudes, produites essentiellement par des chaudières gaz

Répartition de la consommation de fluides caloporteurs en fonctions des différents procédés



Répartition des chaudières



Les autres chaudières fossiles¹ sont progressivement substituées en chaudières gaz entre 2020 et 2030

Notes : [1] Chaudières autres : charbon, fuel et autres produits pétroliers

Sources : CEREN 2015 ; CETIAT ; échanges avec des experts (ADEME)

17/05/2024

Secteur chimie — Étape 2 : leviers de décarbonation

Pour chaque procédé, une combinaison spécifique de leviers de décarbonation a été sélectionnée

Leviers de décarbonation :

- **Efficacité énergétique** sur les chaudières gaz et sur les réseaux
- **Récupération de chaleur fatale**
- **Électrification :**
 - PACs HT
 - Résistances
 - Moteurs électriques

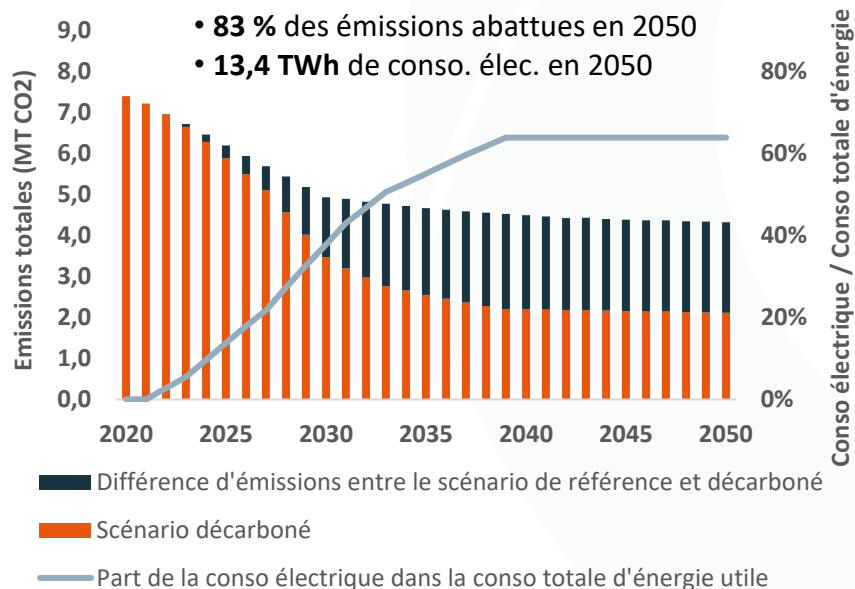
	Efficacité énergétique	Récupération de chaleur	PACs HT	Résistances	Moteurs électriques
Chauffage avec réaction chimique	16 %	20 %	20 %	20 %	0 %
Chauffage des liquides et des gaz		20 %	60 %	10 %	0 %
Séchage		20 %	30 %	0 %	0 %
Opérations mécaniques		0 %	0 %	0 %	80 %
Distillation		15 %	30 %	20 %	0 %
Autres		15 %	28 %	12,5 %	0 %

Pourcentage final de réduction de la consommation de gaz grâce aux leviers pour chaque procédé du secteur chimie

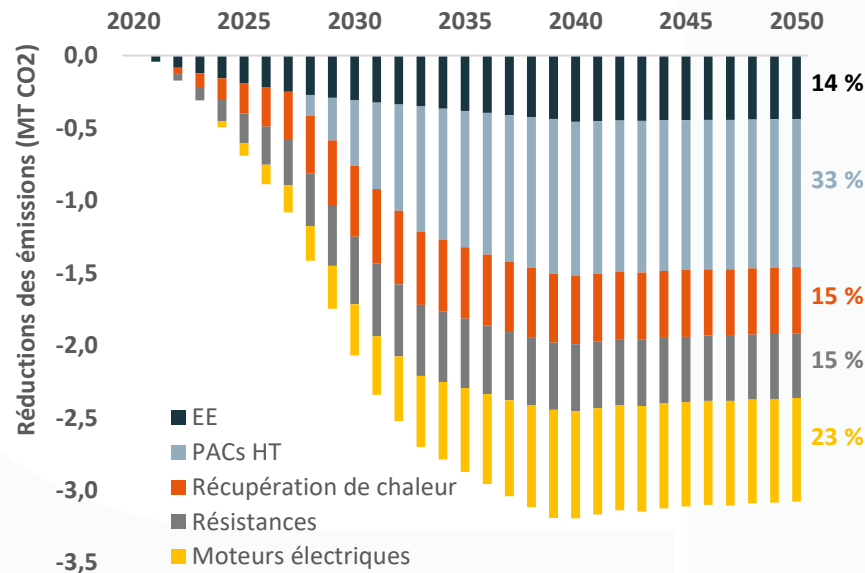
Secteur chimie — Étape 3 : calcul des émissions

Dans le scénario décarboné, 83 % des émissions sont abattues en 2050 engendrant une conso. électrique de 13,4 TWh en 2050

Emissions de CO₂ dans le scénario de référence et décarboné



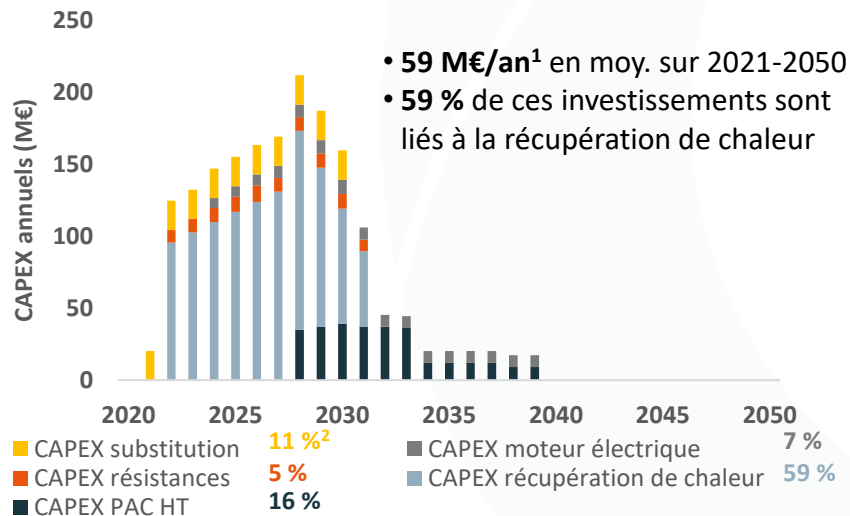
Réduction des émissions permises grâce aux leviers pour le scénario décarboné



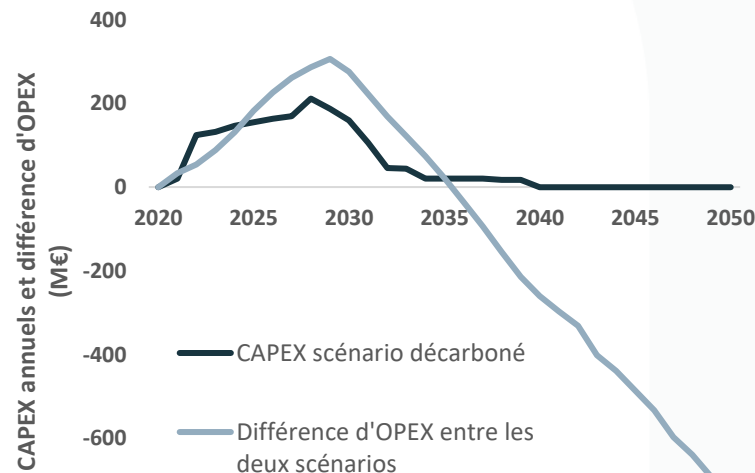
Secteur chimie — Étape 3 : calcul des CAPEX/OPEX

59 M€/an d'investissements sur 2021-2050 sont nécessaires pour décarboner ce secteur, avec une rentabilité longue à atteindre

Investissements annuels à effectuer dans le scénario décarboné



Différence de CAPEX et d'OPEX entre les deux scénarios



L'atteinte de la rentabilité ne semble pas être assez rapide pour inciter les industriels à se décarboner. Ce scénario pourrait être rendu plus viable en **diminuant la vitesse de pénétration** des solutions³ et/ou en mettant en place des **programmes de soutien**

Notes : [1] Ces coûts ne tiennent pas compte des investissements pour réaliser des EE sur les chaufferies et le réseau. [2] Les CAPEX de substitution sont pris en compte dans les scénarios de référence et décarboné. [3] Décaler les investissements lorsque le business case est plus favorable (hausse progressive attendue du prix du gaz). Sources : Analyse Blunomy

17/05/2024

Synthèse des résultats — tous secteurs

Pour chacun des cinq secteurs, plusieurs leviers de décarbonation ont été utilisés

	EE	PACs HT	Récupération chaleur fatale	Résistances	RMV ¹	Moteurs électriques	Conversion gaz → biomasse ²
 Chimie	✓	✓	✓	✓		✓	
 Papier carton	✓	✓					✓
 IAA	✓	✓	✓	✓			
 Sucre	✓	✓			✓		
 Industrie laitière	✓	✓	✓	✓			
Autres	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

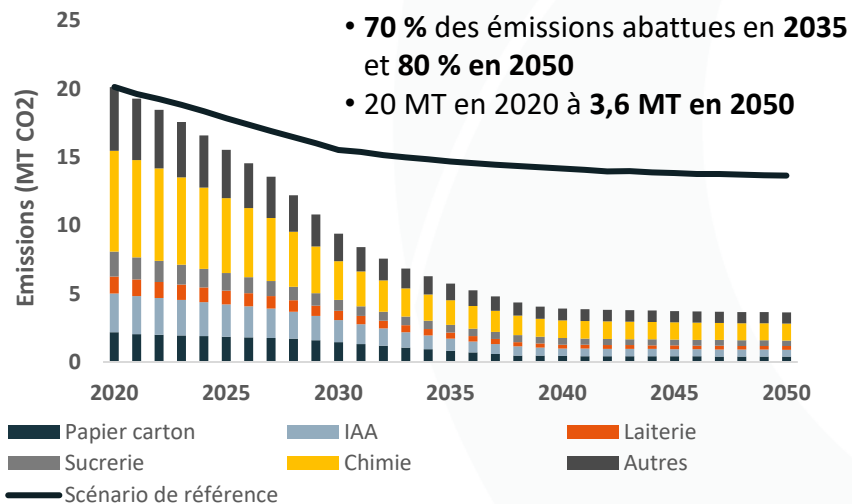
Notes : [1] RMV : Recompression Mécanique de Vapeur. [2] Dans chaque secteur industriel, toutes les chaudières « autres » (ie charbon, fuels et autres produits pétroliers) sont converties en chaudières gaz et/ou biomasse dans le scénario de référence.

17/05/2024

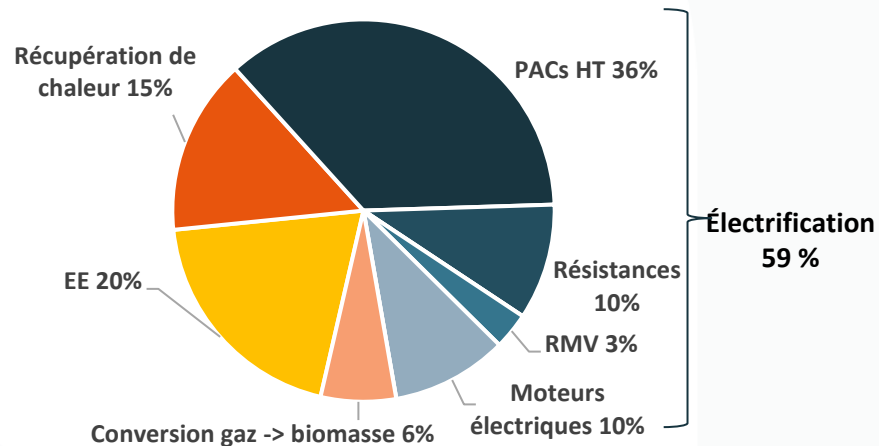
Synthèse des résultats — tous secteurs

80 % des émissions sont abattues en 2050 en grande partie grâce à l'électrification et avec une vitesse de décarbonation rapide

Emissions de CO₂ dans le scénario de référence et décarboné



Réductions des émissions permises grâce aux différents leviers sur 2021 - 2050

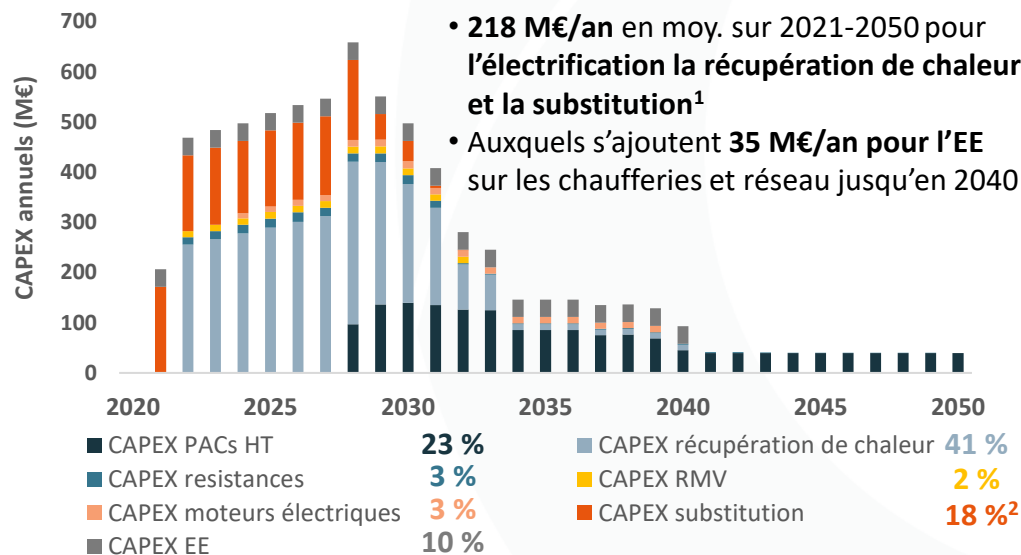


La **vitesse de décarbonation** correspond à un scénario volontariste, prenant en compte la maturité des technologies et la pertinence des leviers pour chaque secteur. Néanmoins, en fonction du **retour sur investissement** et de la **capacité à mettre en œuvre les leviers pour les industriels de chaque secteur**, des **taux de pénétration plus progressifs** pourraient être envisagés.

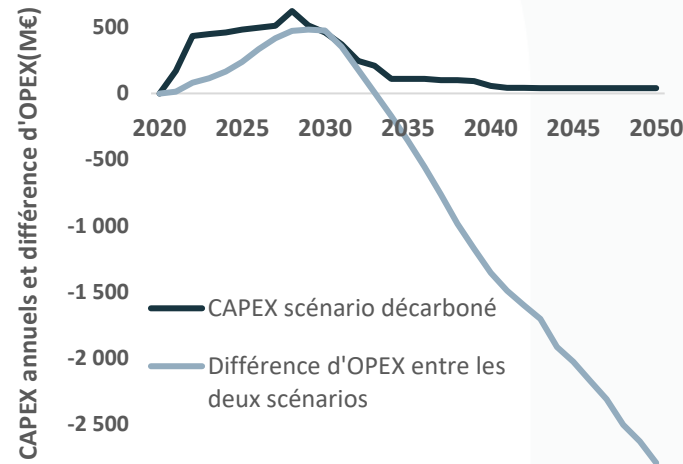
Synthèse des résultats — tous secteurs

241 M€/an d'investissements sur 2021-2050 sont nécessaires pour atteindre cette baisse d'émissions

Répartition des CAPEX annuels



Différence de CAPEX et d'OPEX entre les deux scénarios



La rentabilité ne semble pas être suffisamment rapide pour inciter les industriels à se décarboner. Ce scénario semble être dépendant de **programmes de soutien pour la décarbonation**, à défaut la trajectoire serait certainement plus lente.

Notes : [1] Substitution des chaudières autres en gaz ou biomasse et substitution des chaudières gaz en biomasse pour le secteur papier carton. [2] Les CAPEX de substitution sont pris en compte dans les scénarios de référence et décarboné. **Source :** analyse Blunomy

Principaux enseignements de la modélisation et points d'attention



Augmentation de la consommation électrique de +35 TWh en 2050

- Chiffre **cohérent avec les scénarios RTE** : +65-77 TWh/an¹ prévus pour toute l'industrie
- **Évolution du système électrique** nécessaire : investissement réseau, capacités de production, contraintes de réseau locales, etc.



Diminution de la consommation en gaz de 60% entre 2020 et 2050

- Diminution de la consommation en gaz de 64 TWh en 2020 à **25 TWh en 2050**
- Chiffre **cohérent avec les scénarios de GRDF** : 35 à 76 TWh de CH₄ en 2050 pour tout le secteur industriel



Des temps de retour trop longs pour inciter à décarboner

- **5 à 10 ans de délai** avant de voir les gains OPEX contrebalancer les investissements
- Nécessité de programmes de **programmes de soutien** (subventions, aide au financement...), ou **diminution de la vitesse de pénétration** des leviers²



Une décarbonation réalisée via une sélection de quelques leviers principaux

- Leviers classiques d'**efficacité énergétique et récupération de chaleur**
- **Electrification** des procédés en particulier via les **PAC HT**
- **Conversion aux chaudières biomasse limitée** du fait de la concurrence des usages sur la biomasse

Notes : [1] Scénario de référence basé sur le SNBC : +65TWh/an; scénario Électrification+ : +77 TWh/an. [2] Cela revient à décaler les investissements lorsque le business case est plus favorable (hausse progressive attendue du prix du gaz). **Sources** : RTE « Futurs énergétiques 2050 », GRDF « Perspectives Gaz 2022 »

D'autres leviers de décarbonation, non retenus dans la modélisation, pourraient s'intégrer au mix de solutions



Biométhane (via GO et BPA)

- Possibilité pour un industriel de décarboner sa consommation de gaz par les **Garanties d'Origine (GO) ou Purchase Agreement de biométhane (BPA)**
- Note : **Biométhane** inclus en partie dans le modèle via le facteur d'émission du gaz réseau (baisse de 15% à 2050). Néanmoins, volumes plus importants attendus selon des scénarios prospectifs ¹



Solaire thermique

- Solution **mature et pertinente** pour décarboner la vapeur, et déjà développée sur plusieurs sites industriels
- Mise en place au **cas par cas** en fonction des besoins en chaleur des sites, de la surface disponible, des solutions de stockage ²



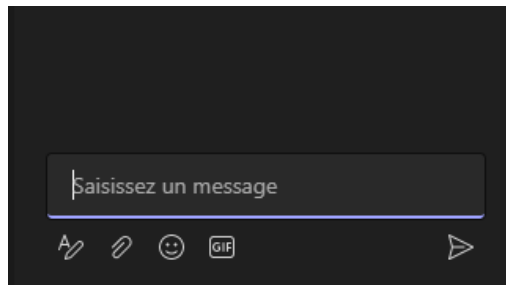
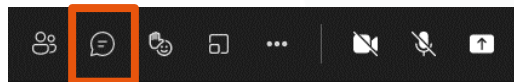
Combustible solide de récupération (CSR)

- Au même titre que les chaudières biomasse, solution pertinente pour **convertir une chaudière de combustible fossile**, moins de concurrence des usages comparé à la biomasse
- **Filière CSR encore à développer**

●●● Autres leviers non priorités pour les applications vapeur

- **Hydrogène bas-carbone** : En cohérence avec la priorisation des usages de l'hydrogène
- **Chaudière oxycombustion** : Rentabilité à analyser au cas par cas
- **Petits réacteurs modulaires** : Technologie pas encore mature (réglementaire, industrialisation)
- **Géothermie** : Application très spécifique (localisation)

Posez vos questions !



Actualités ALLICE

Animation de la communauté et valorisation de la filière

Calendrier 2024

*Webinaire
adhérents
ALLICE*

28 mai

Hybridation
énergétique des
procédés industriels

*Evènement
coorganisé*

6 juin

Evaluation des impacts
environnementaux des
projets industriels par
AXELERA, Tenerrdis et
ALLICE (Lyon)

*Réunion des
adhérents
ALLICE*

13 juin

Club PRIME
Réunion plénière

*Webinaire
adhérents
ALLICE*

2 juillet

Disponibilité future
de la biomasse



19 septembre

FIRE 2024 (Lyon)

*Webinaire
adhérents
ALLICE*

8 octobre

Benchmark des aides
pour la
décarbonation de
l'industrie dans les
pays européens

*Evènement
coorganisé*

7 novembre

Rencontre BtoB avec la
filière du textile
coorganisée avec
Techtera et Unitex
(Lyon)

*Webinaire
adhérents
ALLICE*

14 novembre

Freins et leviers pour
le déploiement du
stockage thermique

*Réunion des
adhérents
ALLICE*

21 novembre

Club PRIME
Réunion plénière

**MERCI À TOUTES ET
À TOUS !**

