



Webinaire ALLICE

02/04/2021

**Étude
« Potentiel d'électrification
des procédés »**

14h-16h00

CdC Études 2021

16h-16h30

Quelques informations pratiques

- Merci de couper vos micros / caméras pendant les présentations.
- Les présentations seront envoyées aux participants à l'issue de la session.
- Une session de questions/réponses est prévue après chaque intervention. Pour poser vos questions :
 - Utilisez le chat
 - Précisez dans le chat si vous voulez prendre la parole.
- N'hésitez pas à nous faire part de vos suggestions.



Partie 1 : Présentation détaillée de l'étude « Potentiel d'électrification des procédés industriels »

- Introduction
- Méthodologie mise en œuvre
- Cas d'étude 1 : Pasteurisation thermique
- REX de fabricant 1 : SAIREM
- Cas d'étude 2 : Evapo-concentration
- REX de fabricant 2 : France Evaporation
- Cas d'étude 3 : Fours BT / HT
- REX de fabricant 3 : European Furnace Ropion (EFR)
- Conclusions et perspectives
- Temps d'échange

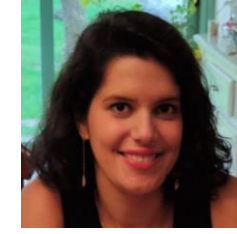
L'équipe ALLICE



C. DEBARD



E. CARLU



L. PAYET



J. BOURGINE

Les experts du CETIAT et du CETIM



Y. ROMITTI



F. VIAL



R. MATRAY



E. SENECHAL

Les témoignages de fabricants



E. SAVARY
(SAIREM)



M. TAOUFIK
(SAIREM)



O. DEHAY
(FRANCE
EVAPORATION)



E. EDEL
(EFR)

Partie 2 :

Présentation et échanges autour des études ALLICE 2021

- Gaz renouvelables et décarbonation de la combustion
- Récupération de chaleur très haute température



Sebastian Escagues
(Enea Consulting)



François VIAL
(CETIAT)



Feuille de route 2020 « Potentiel d'électrification des procédés »

Méthodologie

Étude PEP : méthodologie

Priorisation sur 5 procédés

- Pasteurisateur
- Evapo-concentrateur
- Séchoir tunnel
- Four batch
- Four tunnel

Technologies

- Analyse technico-économique par procédé avec une projection à 2050, sous l'angle CO2 et coût total technologies (CAPEX+OPEX)

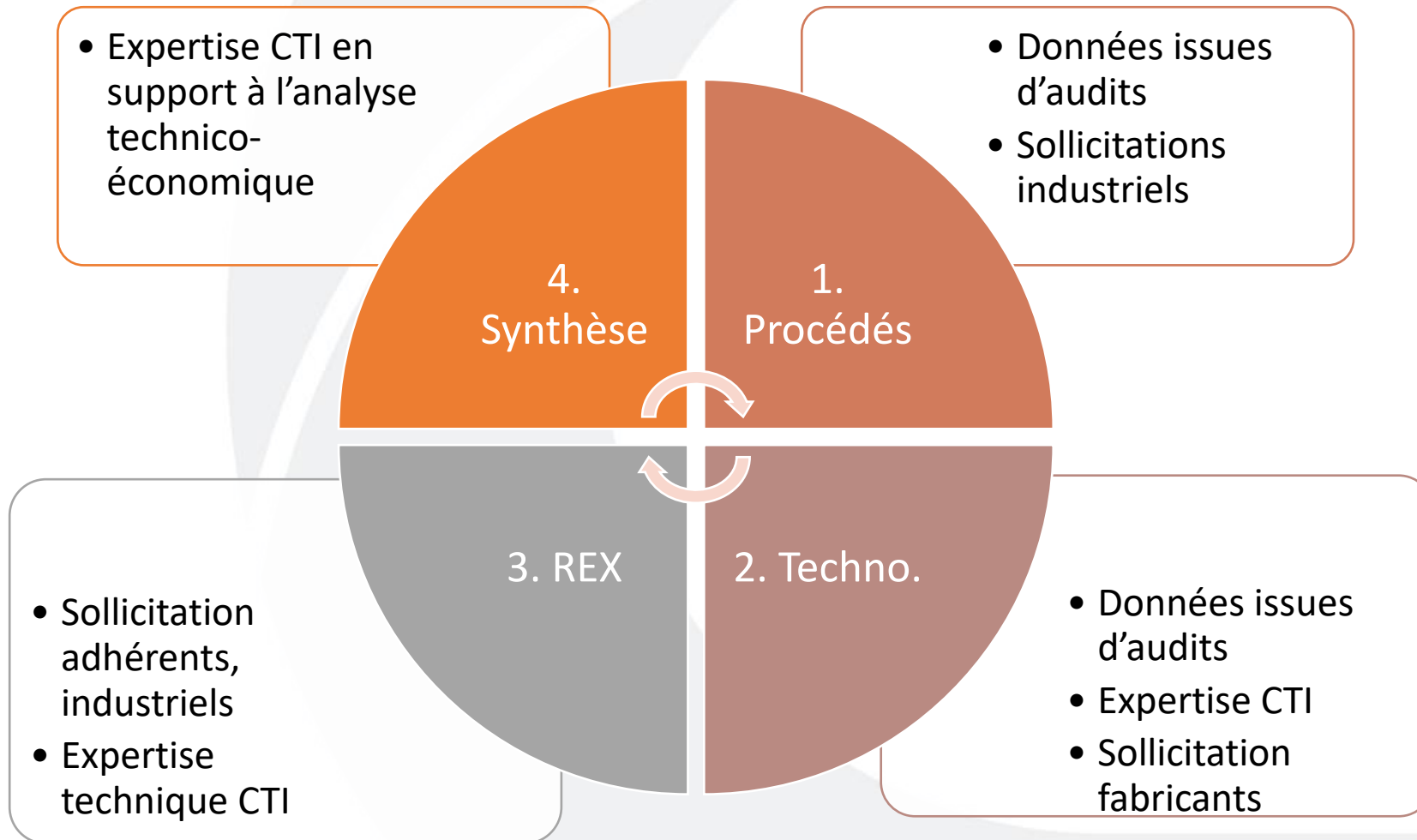
Retours d'expérience

- Illustration pour les procédés étudiés de retours d'expérience terrain

Transversalités et synthèse

- Scénarios d'évolution coûts énergie et CO2
- Synthèse des perspectives

Étude PEP : méthodologie



Périmètre de l'étude

Caractéristiques techniques	Evapo-concentration	Pasteurisation	Four batch	Four tunnel	Sécheur tunnel
Secteurs d'application, domaines d'application	IAA, Chimie, Agriculture, mécanique	Médical, agroalimentaire, chimie	Mécanique, métallurgie, Agroalimentaire, Verre, Céramique	Mécanique, métallurgie, Agroalimentaire, Verre	Agro-alimentaire, mécanique, céramiques, briques & tuiles
Température procédé (°C)	50°C à 110-150 °C max.	70°C jusqu'à 180°C	De 150°C jusqu'à 1000°C	De 80°C jusqu'à 1200°C	<100°C à 200°C
Cycle de fonctionnement	Continu	Continu, avec arrêt WE	Discontinu en fonction des charges	Continu	Continu, avec arrêt WE
Gamme de puissance (kW)	10 kW à 10 MW	De quelques kW à plusieurs centaines de kW	De quelques kW à plusieurs dizaines de MW	De quelques kW à plusieurs MW	100 kW à plusieurs milliers de kW

Scénario de travail -> Énergies / CO2 / Process / Techno.

Process

Conditions d'exploitation		
Nb h fonctionnement/an	8 256	h/an
P fonctionnement régime	1 100	kW
Taux récup.	50	%
P brûleurs gaz	550	kW

Technologies

Technologie de chauffage	Énergie	η appareil % (pcs) pour GN
Brûleurs gaz	GN	90
Brûleurs gaz + PAC	GN+Elec	90
Résistances électriques + brûleurs gaz (pour relance)	GN+Elec	90
Résistances électriques	Elec	100
Chaudière vapeur	Bois	85

η appareil : rendement thermique de la technologie de chauffage

Scénario 2020

Coût énergie		Emissions
Energie	€/MWh	kg CO2/MWh
Gaz naturel	19	204
Electricité	67	57
Broyats de bois (plaquettes)	20	24
Coût de la tonne de CO2 (€/T)		30
PCS/PCI		
Gaz naturel	1,11	
Broyats de bois (plaquettes)	1,78	

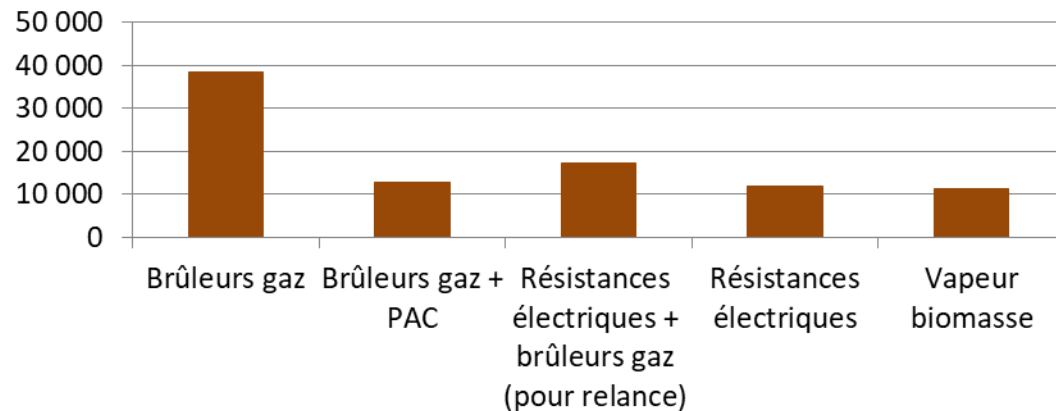
Investissement

Estimation des coûts d'investissement				
Technologie	Autres équip. périphériques	Financement potentiel		Total brut
€	€	%	€	€
50 000		0	0	50 000
50 000	147 500	30	44 250	153 250
100 000	20 000	0	0	120 000
50 000	20 000	0	0	70 000
500 000		50	250 000	250 000

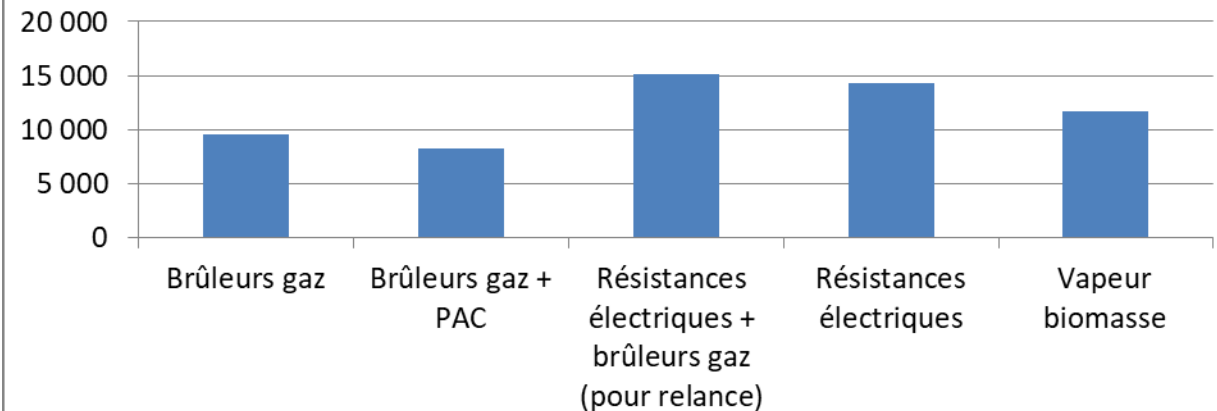
Exemple de résultats - Sécheur tunnel (application B&T)



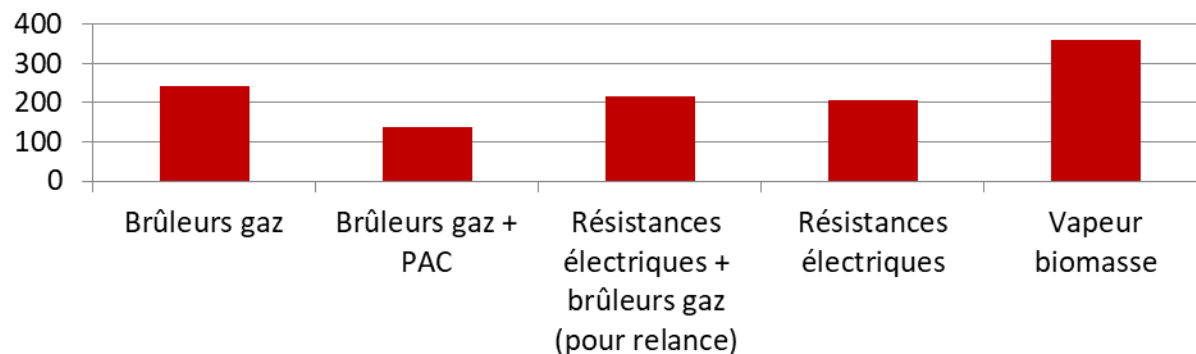
**Emission de CO2 (t)
sur la durée du scénario**



**Coût Total (k€)
sur la durée du scénario**



**Energie (GWh)
sur la durée du scénario**



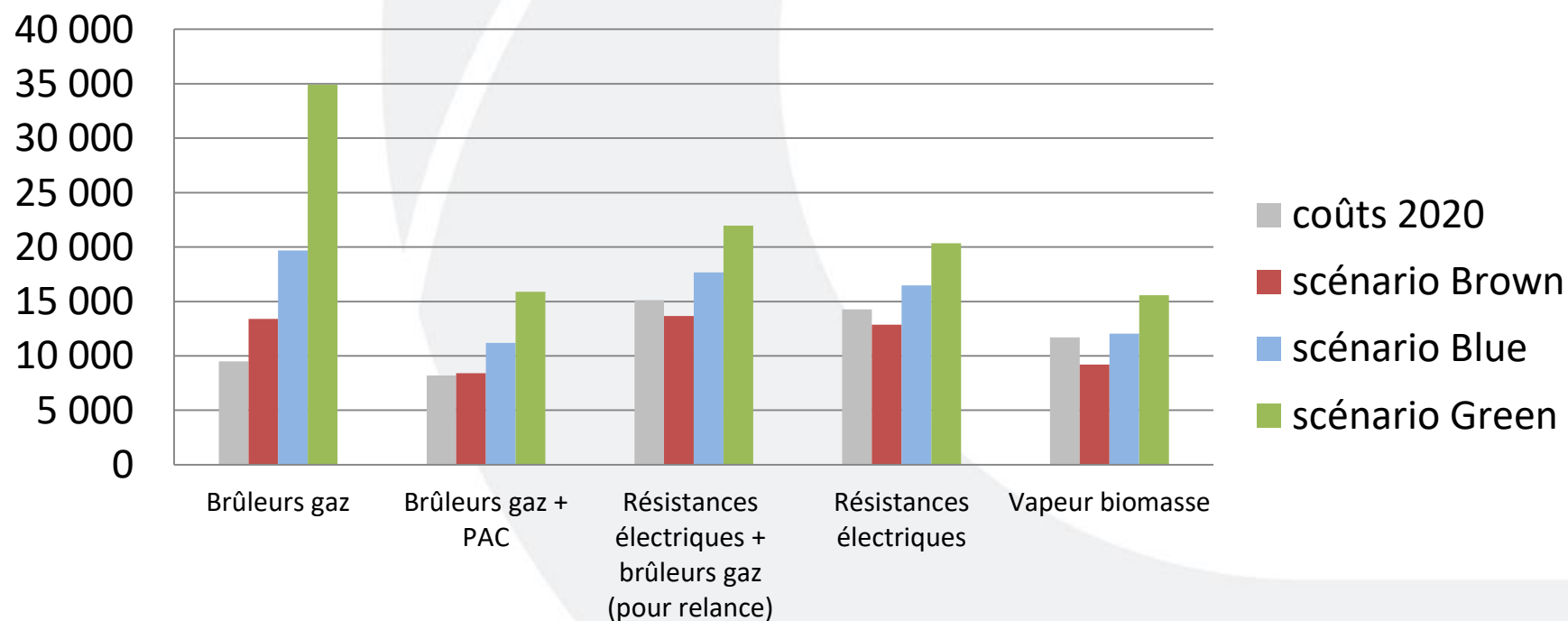
- Chauffage résistif et couplage GN+Elec : avantageés sous l'angle CO2
- Durée de vie importante de ces séchoirs (40 ans)
- Surcoûts transformateur électrique
- Future fiche CEE standard sécheur tunnel+PAC ?

Analyse de sensibilité – Exemple de résultat

- Comparaison scénario coûts 2020 avec 3 autres scénarios

Comparaison des coûts totaux (k€) sur la durée du scénario

Procédé sécheur tunnel



Autres livrables



FICHE TECHNOLOGIQUE

Principe de fonctionnement: L'Applicateur Micro-Ondes (MO) batch

Le produit, placé dans une cavité multi mode ou mono mode fermée, est soumis à un champ électromagnétique Micro-Ondes (MO). Deux types de fréquences sont principalement disponibles: 2450-MHz et 915-MHz. Le choix de la fréquence va dépendre de la capacité du produit à absorber les ondes mais également de la taille des produits et du niveau de puissance de l'installation.

Le champ électrique alternatif porté par l'onde électromagnétique MO excite ainsi l'ensemble des molécules polaires ou polarisables de la matière qu'il traverse et provoque ainsi l'échauffement du produit.

Le chauffage diélectrique est donc l'opération électrothermique qui produit l'échauffement interne d'un matériau à partir du déplacement de porteurs de charges (ions, électrons libres...) et de l'agitation moléculaire induite dans ce matériau par des champs électriques alternatifs de fréquences élevées.

Le séchage par perte diélectrique est un séchage dit "volumique" contrairement aux procédés classiques utilisant la conduction et/ou la convection surfacique par air chaud.

Le chauffage MO est très intéressant pour traiter rapidement des produits. Le champ peut être aléatoire dans la cavité ou bien concentré sur un point précis du produit. Ce traitement permet de traiter les produits multiformes. Une étude de faisabilité est indispensable pour connaître l'interaction onde-matière.

Les temps de traitement sont donc souvent réduits dans des proportions considérables, divisés par exemple dans de nombre de cas par 10 à 100 pour les MO.

Cette technologie est souvent associée à un balayage d'air à l'intérieur de la cavité pour éliminer l'humidité générée au cours du temps.

Le rendement des traitements est généralement très bon, celui de la génération de l'énergie étant compris entre 60 et 70 %, le rendement global varie de 55 à 65 %.

Niveau de température

Gamme de puissance



FICHE TECHNOLOGIQUE

Il n'y a pas de limite à la montée en température du produit. L'apport d'énergie MO permet l'échauffement du produit jusqu'à atteindre son équilibre avec le milieu ambiant.

Avantages:

- Gain en productivité
- Forte densité de puissance disponible
- Possibilité de champ diffus ou localisé
- Permet de traiter rapidement des produits multiformes: Chauffage volumique
- Pilotage automatique du procédé
- Peu de rejets d'effluents
- Bon rendement de transfert d'énergie: dépend du taux de remplissage

Inconvénients:

- Traitement pas adaptable à tous les produits: dépend de l'interaction ondes/matières. Tests de faisabilité à prévoir
- Prix d'investissement
- En fonction de la puissance, installation d'un nouveau transformateur d'électricité sur le site

Maturité de la technologie (TRL)

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Modalités de mise en œuvre, contraintes d'exploitation, maintenance

Possibilité de travail en continu ou en batch

Pas de contrainte particulière en exploitation

Maintenance préventive au niveau des magnétons des générateurs MO. Très bonne durée de vie, dépend du fonctionnement

S'assurer de la bonne étanchéité électromagnétique de la cavité

Contraintes environnementales, réglementaires

Pas de contraintes particulières sur l'utilisation des micro-ondes à 2450 MHz

Si fonctionnent à 915-MHz, mise en place de sas spéciaux pour respecter la législation

S'assurer d'aucune fuite électromagnétique par une maintenance régulière de l'installation

Impact de l'installation sur le réseau électrique

CAPEX / OPEX

Typologie fournisseur (cliquer sur Européen pour voir la liste de choix)

Européen

SAIREM

SAIREM-IBERICA



RETOUR D'EXPERIENCE



REX (RETOUR D'EXPERIENCE)

Pasteurisation / cuisson par Micro-Onde

Secteur industriel / Application

IAA

Technologies

Energies radiantes (IR, MO, HF)

Chauffage par Micro-Onde (MO)

Le produit, placé dans une cavité, est soumis à un champ électromagnétique Micro-Onde (MO) qui provoque son échauffement et son séchage.

La cuisson par perte diélectrique est une cuisson dite "volumique" contrairement aux procédés classiques utilisant la conduction et/ou la convection surfacique par air chaud. Le champ électrique alternatif porté par l'onde électromagnétique MO (2450 ou 915-MHz) excite l'ensemble des molécules polaires ou polarisables de la matière qu'il traverse. Le chauffage diélectrique est donc l'opération électrothermique qui produit l'échauffement interne d'un matériau à partir du déplacement de porteurs de charges (ions, électrons libres...) et de l'agitation moléculaire induite dans ce matériau par des champs électriques alternatifs de fréquences élevées.

Produit (expliquer, à l'information, pertinence)

Pasteurisation / cuisson

Produit: fruits au sirop / les flottantes

Crème caramel

Innovation (Préciser le type d'innovation, son niveau de T pour une PAC HT)

Mise en place de tunnels Micro-Onde à 2450 MHz, et de puissance variable entre 80 kW et 300 kW pour effectuer les opérations de pasteurisation et de chauffage

Niveau de température variable selon les recettes de l'industriel, et qui dépend de la puissance MO émise par les générateurs

Contexte et enjeux (expliquer les enjeux économiques, de processus, de cuisson pour un industriel, s'en expliquer)

Le traitement initial (air/eau chaude) des produits génère beaucoup de déchets, nécessite une maintenance importante et une longue cuisson (40 minutes) -> Substitution par une pasteurisation / chauffage par Micro-Onde

De nouvelles recettes sont créées grâce au transfert d'énergie par rayonnement MO. En effet, le processus de cuisson traditionnel limite les possibilités de développement de recettes (par exemple: fruit frais pasteurisé). Les propriétés organoleptiques restent les mêmes, peu importe la méthode de cuisson

Le temps de traitement est quant à lui divisé par 10 (4 minutes)

Inclut: une automatisation complète du procédé de production en continu



REX (RETOUR D'EXPERIENCE)

Bilan du projet (Préciser, selon les infos, dispon, gains, investissement, Temps de Retour, Investissement brut, etc)

Préciser l'acte du financement

12 lignes industrielles en Europe permettant une capacité de 2000 à 3000 pots par heure chacune pour un budget total d'environ 6 millions d'euros

Reproductibilité / Transversalité possible

Dépend de la capacité des produits à absorber les ondes électromagnétiques pour provoquer l'échauffement

A priori, tous les produits qui contiennent des molécules d'eau ou molécules polaires sont éligibles

Après des essais validés en amont sur le produit avec une machine pilote, toute application industrielle est reproductible

FICHE TECHNOLOGIE

Annexe technique

Périmètre de l'étude – Tableau détaillé

Caractéristiques techniques	Evapo-concentration	Pasteurisation	Four batch	Four tunnel	Sécheur tunnel
Secteurs d'application, domaines d'application	IAA, Chimie, Agriculture, mécanique	Médical, agroalimentaire, chimie	Mécanique, métallurgie, Agroalimentaire, Verre, Céramique	Mécanique, métallurgie, Agroalimentaire, Verre	Agro-alimentaire, mécanique, céramiques, briques & tuiles
Produits traités		Conserves, boissons, emballages, produits médicaux	Produits métalliques, plats et aliments, peinture, fusion du verre, maintien du métal liquide, cuisson des tuiles et briques,...	Produits métalliques, biscuits, plats préparés, peinture, plastiques	Produits alimentaires, matériaux (métal, céramiques)
Température procédé (°C)	50°C à 110-150 °C max.	70°C jusqu'à 180°C	De 150°C jusqu'à 1000°C	De 80°C jusqu'à 1200°C	<100°C à 200°C ; température adaptée selon le produit à sécher
Cycle de fonctionnement	Continu Prendre en compte le démarrage et l'entretien de l'installation de façon périodique : 12h à plusieurs jours	Continu (traitement en procédé de type tunnel) Fonctionnement en mode continu 2x8 ou 3x8	Discontinu en fonction des charges Durée de passage du produit très variable de quelques minutes à plusieurs jours en fonction de l'utilisation Fonctionnement en général en 3X8 et en temps masqué	Continu en fonction du produit Durée de passage du produit très variable de quelques minutes à plusieurs heures Fonctionnement en général en 3X8	Continu 3x8, 5j/7
Gamme de puissance (kW)	10 kW à 10 MW	De quelques kW à plusieurs centaines de kW	De quelques kW à plusieurs dizaines de MW	De quelques kW à plusieurs MW	100 kW à plusieurs milliers de kW
Énergies utilisées	Gaz, électricité, fioul, biomasse	Vapeur (gaz naturel), électricité	Gaz naturel, fioul (rare), GPL, électricité,	Gaz naturel, fioul, GPL, électricité	Gaz naturel, couplage gaz naturel/électricité
Comparatif gaz/électricité	Sur les chaudières et l'ajout de CMV	Électrique bien répandu sur les petites puissances Le gaz s'impose pour les grosses unités de production	À haute température prédominance du gaz naturel. Traitement sous vide exclusivement électrique	À haute température prédominance du gaz naturel	Gaz naturel principalement



Feuille de route 2020 « Potentiel d'électrification des procédés »

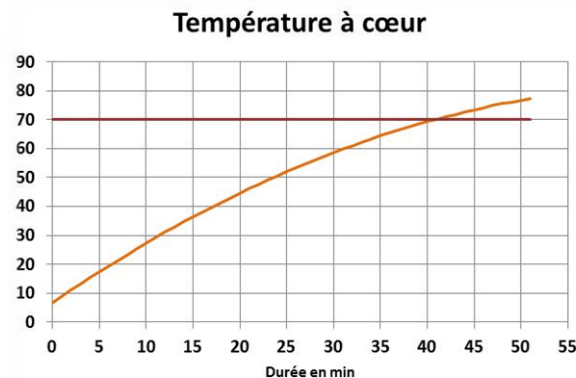
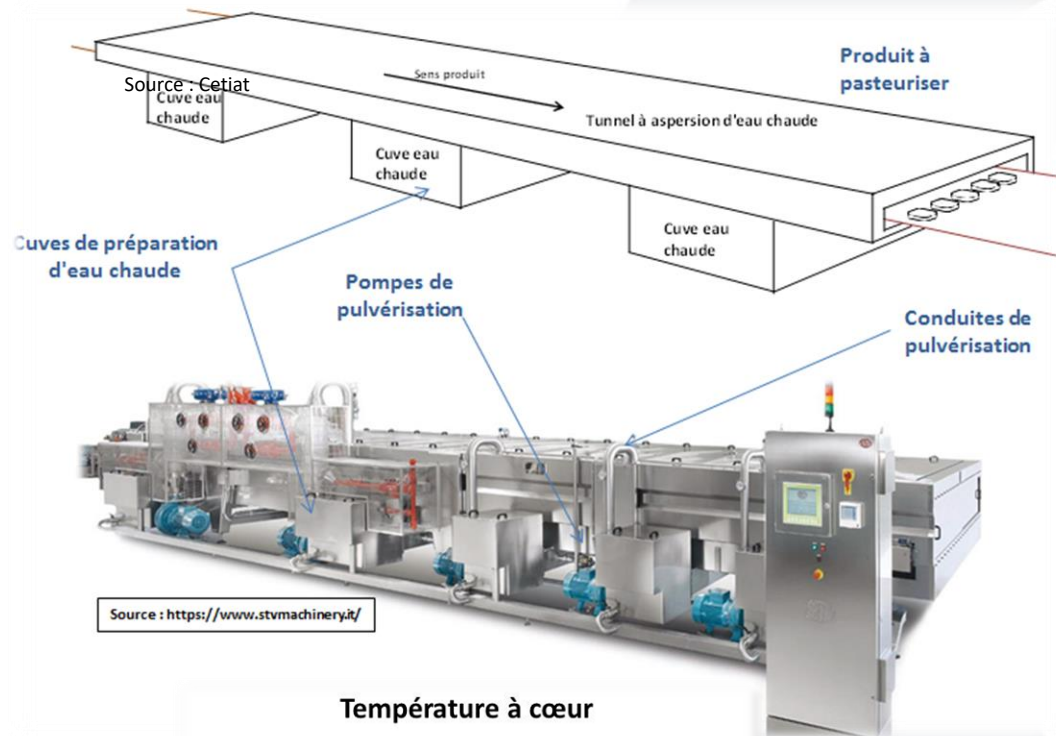
Analyse technico-
économique
Pasteurisateur thermique

François VIAL

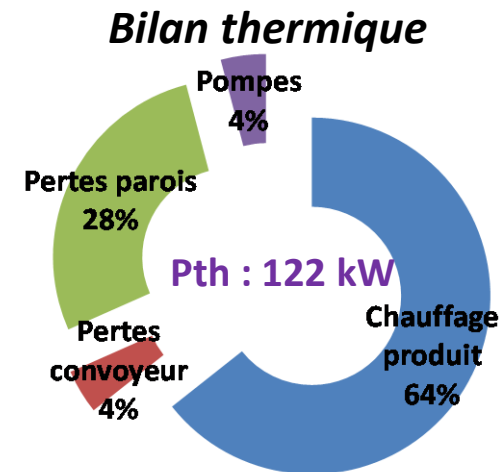
Pasteurisateur

- Familles de procédés thermiques utilisant l'eau chaude
- Niveau de température de 120 °C max
- Équipements de petite et moyenne puissance
- Poste énergétique pour l'industrie très important
- Nombreuses technologies de chauffage disponibles
 - Elec
 - Vapeur
 - Gaz
 - MO
 - ENR

Étude de cas : tunnel de pasteurisation



- Pasteurisateur tunnel de puissance thermique 122 kW.
- Produit agroalimentaire débit 1 000kg/h.
- Production d'eau chaude à 95 °C.
- Fonctionnement en 2 x 8 heures.



Source : Cetiat

Scénario de travail -> Énergies / Émissions CO2

Note : les consommations d'énergie sont exprimées en kWh(pcs) pour les combustibles

		η appareil	Coût total de l'énergie sur la durée du scénario	Coût total CO2
Technologie de chauffage	Énergie	% (pcs)	€	€
Solution tubes immergés compact	GN	95	676 842	98 221
	GPL	95	730 144	96 810
Résistance électrique	Elec	100	1 154 084	23 065
Pompe à chaleur HT	Elec	300	384 695	7 688
Chaudière vapeur	GN	85	740 441	107 450
Chaudière vapeur	Bois	85	697 012	20 301
Chaudière eau chaude	GN	90	699 305	101 481
Chaudière eau chaude	Bois	90	658 289	19 173
Tunnel Micro-ondes	Elec	85	802 482	16 038

Coût énergie		Émissions
Énergie	€/MWh	kg CO2/MWh
Gaz naturel	30	204
Gaz propane	35	214
Électricité	70	57
Broyats de bois	20	24
Coût de la tonne de CO2 (€/T)		25

Données 2020

η appareil : rendement thermique de la technologie de chauffage

Scénario de travail -> Données technologies

		Durée de vie	Puissance installée nécessaire	Puissance installée	Estimation des coûts d'investissement				Estimation des coûts de maintenance	Coût total équipement
					Technologie	Autres équip. périphériques	Financement potentiel	Total brut		
Technologie de chauffage	Énergie	Années	kW	kW	€	€	€	€	€/an	€
Solution tubes immergés compact	Gaz	20	427	500	45 000	2 000	0	47 000	940	98 700
Résistance chauffante	Elec	25	406	450	35 000	90 000	0	125 000	2 500	225 000
Pompe à chaleur HT	Elec	20	135	150	200 000	120 000	96 000	224 000	6 400	528 000
Chaudière vapeur	Gaz	25	478	550	137 500	25 000	0	162 500	3 250	292 500
Chaudière vapeur	Bois	25	478	550	275 000	25 000	150 000	150 000	6 000	360 000
Chaudière eau chaude	Gaz	30	451	500	70 000	50 000	0	120 000	2 400	192 000
Chaudière eau chaude	Bois	30	451	500	200 000	50 000	125 000	125 000	5 000	275 000
Tunnel Micro-ondes	Elec	30	100	100	100 000	20 000	0	120 000	2 400	192 000

Comparaison des technologies de chauffage

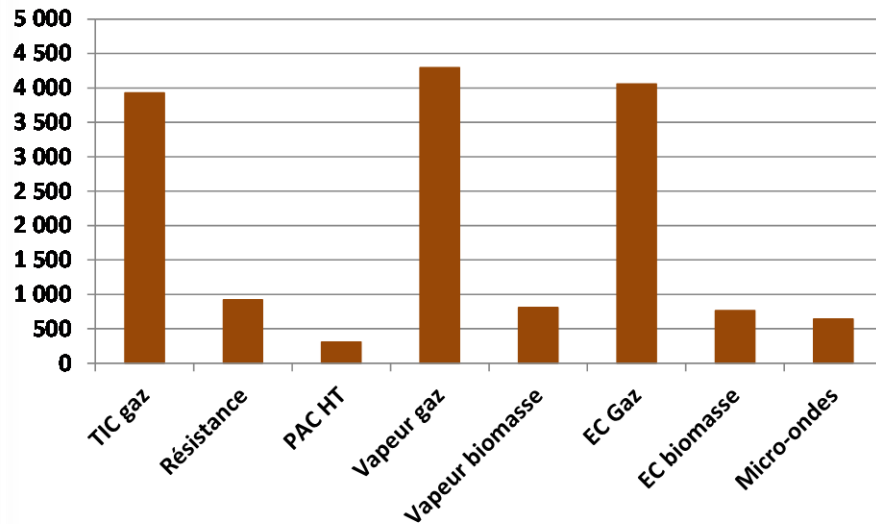
	Énergie	Émission de CO2 (t)	Énergie finale (GWh)	Coût E (k€)	Coût techno sur la durée de vie (k€)	Coût techno (% du coût total)	Coût Total (k€)
TIC gaz	GN	3 929	19,3	677	99	13	776
Résistance	Elec	923	16,2	1 154	225	16	1 379
PAC HT	Elec	308	5,4	385	528	58	913
Vapeur gaz	GN	4 298	21,1	740	293	28	1 033
Vapeur biomasse	Biomasse	812	33,8	697	360	34	1 057
EC Gaz	GN	4 059	19,9	699	192	22	891
EC biomasse	Biomasse	767	32,0	658	275	29	933
Micro-ondes	Elec	642	11,2	802	192	19	994

Scénario considéré :

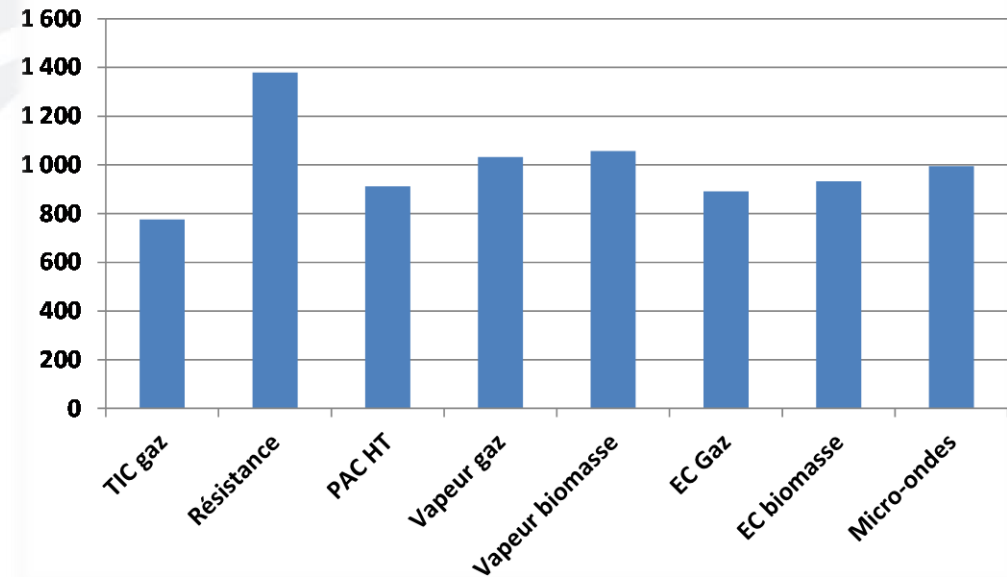
- échéance 2050, les coûts des énergies *sont* ceux actuels 2020
- Trois énergies : gaz/électricité/biomasse

Synthèse (1/3)

Emission de CO2 (T) pour toute la durée du scénario

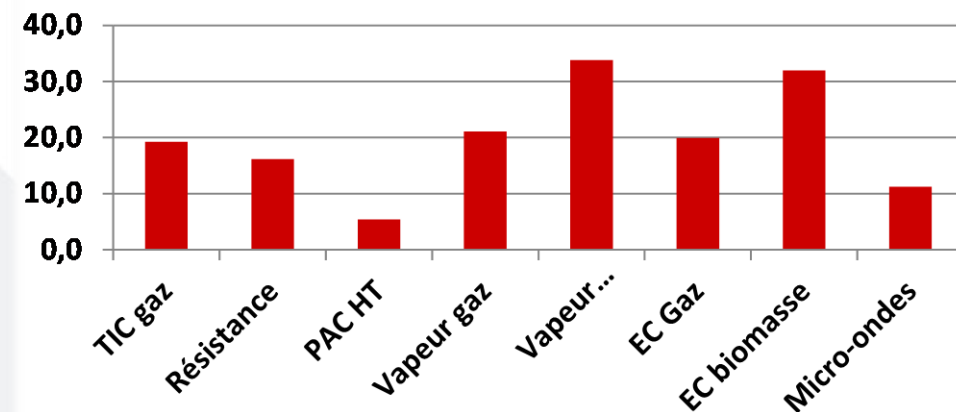


Coût total (k€) sur la durée du scénario



- Solutions 100% électriques avantageées sous l'angle CO2
- Poste énergétique pour l'industrie très important donc fort intérêt de décarbonation
- Transversalité forte aux familles de procédés thermiques utilisant l'eau chaude
- Intérêt fort de REX pour déployer ces technos.
- Montée en puissance des gaz verts d'ici 2050
- ENR pertinent (solaire, biomasse)

Energie (GWh) sur la durée du scénario



Électrification : tunnels de traitement thermique



Technologie	Intérêts	Freins
Chauffage résistif	Facilité de mise en œuvre, appréciée par les petites entreprises	Coût des énergies fossiles : la solution TIC gaz est avantagée sous l'angle coût exploitation & investissement / chauffage résistif
Chauffage MO	- Performance énergétique intéressante - Maturité et répandue industriellement ; - Gain sur cadence de production et encombrement	- Coût des technologies ⇒ investissement initial peut être un frein pour l'industriel
PAC HT	Performance énergétique	- Nécessité d'une source de chaleur à un niveau suffisant pour garantir sa performance - Coût technologie

Autres livrables



FICHE TECHNOLOGIQUE

Principe de fonctionnement : L'Applicateur Micro-Ondes (MO) batch

Le produit, placé dans une cavité multi mode ou mono mode fermée, est soumis à un champ électromagnétique Micro-Ondes (MO). Deux types de fréquences sont principalement disponibles : 2450 MHz et 915 MHz. Le choix de la fréquence va dépendre de la capacité du produit à absorber les ondes mais également de la taille des produits et du niveau de puissance de l'installation.

Le champ électrique alternatif porté par l'onde électromagnétique MO excite ainsi l'ensemble des molécules polaires ou polarisables de la matière qu'il traverse et provoque ainsi l'échauffement du produit.

Le chauffage diélectrique est donc l'opération électrothermique qui produit l'échauffement interne d'un matériau à partir du déplacement de porteurs de charges (ions, électrons libres...) et de l'agitation moléculaire induite dans ce matériau par des champs électriques alternatifs de fréquences élevées.

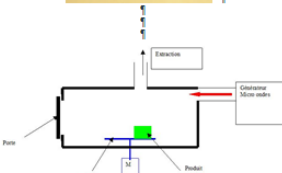
Le séchage par perte diélectrique est un séchage dit "volumique" contrairement aux procédés classiques utilisant la conduction et/ou la convection surfacique par air chaud.

Le chauffage MO est très intéressant pour traiter rapidement des produits. Le champ peut être aléatoire dans la cavité ou bien concentré sur un point précis du produit. Ce traitement permet de traiter les produits multiformes. Une étude de faisabilité est indispensable pour connaître l'interaction onde-matière.

Les temps de traitement sont donc souvent réduits dans des proportions considérables, divisés par exemple dans de nombreux cas par 10 à 100 pour les MO.

Cette technologie est souvent associée à un balayage d'air à l'intérieur de la cavité pour éliminer l'humidité générée au cours du temps.

Le rendement des traitements est généralement très bon, celui de la génération de l'énergie étant compris entre 60 et 70 %, le rendement global varie de 55 à 65 %.



Niveau de température

Gamme de puissance



FICHE TECHNOLOGIQUE

Il n'y a pas de limite à la montée en température du produit. L'apport d'énergie MO permet l'échauffement du produit jusqu'à atteindre son équilibre avec le milieu ambiant.

Avantages :

- Gain en productivité
- Fort densité de puissance disponible
- Possibilité de champ diffus ou localisé
- Permet de traiter rapidement des produits multiformes : Chauffage volumique
- Pilotage automatique du procédé
- Peu de rejets d'effluents
- Bon rendement de transfert d'énergie : dépend du taux de remplissage

Inconvénients :

- Traitement pas adaptable à tous les produits : dépend de l'interaction ondes/matières. Tests de faisabilité à prévoir
- Prix d'investissement
- En fonction de la puissance, installation d'un nouveau transformateur d'électricité sur le site

Maturité de la technologie (TRL) :

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Modalités de mise en œuvre, contraintes d'exploitation, maintenance :

- Possibilité de travail en continu ou en batch
- Pas de contrainte particulière en exploitation
- Maintenance préventive au niveau des magnétons des générateurs MO. Très bonne durée de vie, dépend du fonctionnement
- S'assurer de la bonne étanchéité électromagnétique de la cavité

Contraintes environnementales, réglementaires :

- Pas de contraintes particulières sur l'utilisation des micro-ondes à 2450 MHz
- Si fonctionnant à 915 MHz, mise en place de sas spéciaux pour respecter la législation
- S'assurer d'aucune fuite électromagnétique par une maintenance régulière de l'installation

Impact de l'installation sur le réseau électrique

CAPEX / OPEX

Typologie fournisseur (cliquer sur Européen pour voir la liste de choix) :

Européen

SAIREM

SAIREM-IBERICA



REX (RETOUR D'EXPERIENCE)

Pasteurisation / cuisson par Micro-Onde

Secteur industriel / Application : IAA

Technologies : Energies radiantes (IR, MO, HF)

Chauffage par Micro-Onde (MO) :

- Le produit, placé dans une cavité, est soumis à un champ électromagnétique Micro-Onde (MO) qui provoque son échauffement et son séchage.
- La cuisson par perte diélectrique est une cuisson dite "volumique" contrairement aux procédés classiques utilisant la conduction et/ou la convection surfacique par air chaud. Le champ électrique alternatif porté par l'onde électromagnétique MO (2450 ou 915 MHz) excite l'ensemble des molécules polaires ou polarisables de la matière qu'il traverse. Le chauffage diélectrique est donc l'opération électrothermique qui produit l'échauffement interne d'un matériau à partir du déplacement de porteurs de charges (ions, électrons libres...) et de l'agitation moléculaire induite dans ce matériau par des champs électriques alternatifs de fréquences élevées.

Produit (expliquer, à l'information, pertinence) :

Pasteurisation / cuisson

Produit : fruits au sirop / les flottantes / Crème caramel

Innovation (Préciser le type d'innovation, son niveau de T pour une PAC HT) :

Mise en place de tunnels Micro-Onde à 2450 MHz, et de puissance variable entre 80 kW et 300 kW pour effectuer les opérations de pasteurisation et de chauffage

Niveau de température variable selon les recettes de l'industriel, et qui dépend de la puissance MO émise par les générateurs

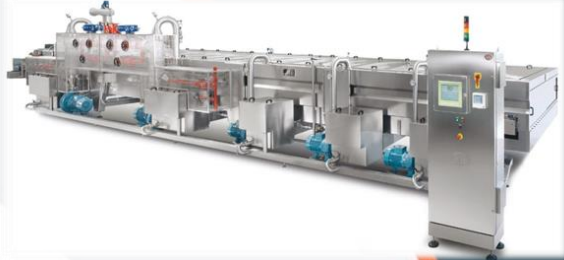
Contexte et enjeux (expliquer les enjeux économiques, de processus, de cuisson pour un industriel, s'en expliquer) :

Le traitement initial (air/eau chaude) des produits génère beaucoup de déchets, nécessite une maintenance importante et une longue cuisson (40 minutes) → Substitution par une pasteurisation / chauffage par Micro-Onde

De nouvelles recettes sont créées grâce au transfert d'énergie par rayonnement MO. En effet, le processus de cuisson traditionnel limite les possibilités de développement de recettes (par exemple : fruit frais pasteurisé). Les propriétés organoleptiques restent les mêmes, peu importe la méthode de cuisson

Le temps de traitement est quant à lui divisé par 10 (4 minutes)

Incrément : une automatisation complète du procédé de production en continu



RETOUR D'EXPERIENCE



REX (RETOUR D'EXPERIENCE)

Bilan du projet (Préciser, selon les infos, disparités, gains, investissement, Temps de Retour, Investissement brut, etc) :

12 lignes industrielles en Europe permettant une capacité de 2000 à 3000 pots par heure chacune pour un budget total d'environ 6 millions d'euros

Reproductibilité / Transversalité possible :

Dépend de la capacité des produits à absorber les ondes électromagnétiques pour provoquer l'échauffement

A priori, tous les produits qui contiennent des molécules d'eau ou molécules polaires sont éligibles

Après des essais validés en amont sur le produit avec une machine pilote, toute application industrielle est reproductible

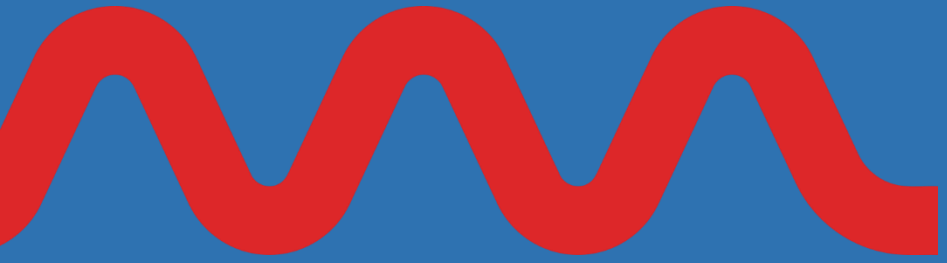
FICHE TECHNOLOGIE



Company overview

Microwave and Radio Frequency industrial solutions





Who we are



A leader in microwave & RF technologies

We are improving customer processes with our high performance electronic MW and RF solutions since 1978.



43 years of experience in Microwave and Radiofrequency



08 active patents



15 M€ of turnover in 2019
36 % growth of sales in 2019



10% of turnover spent on R&D,
7 multinational projects participation



A team of professionals to service your needs



15 R&D engineers



6 PhDs



75+ people at your service



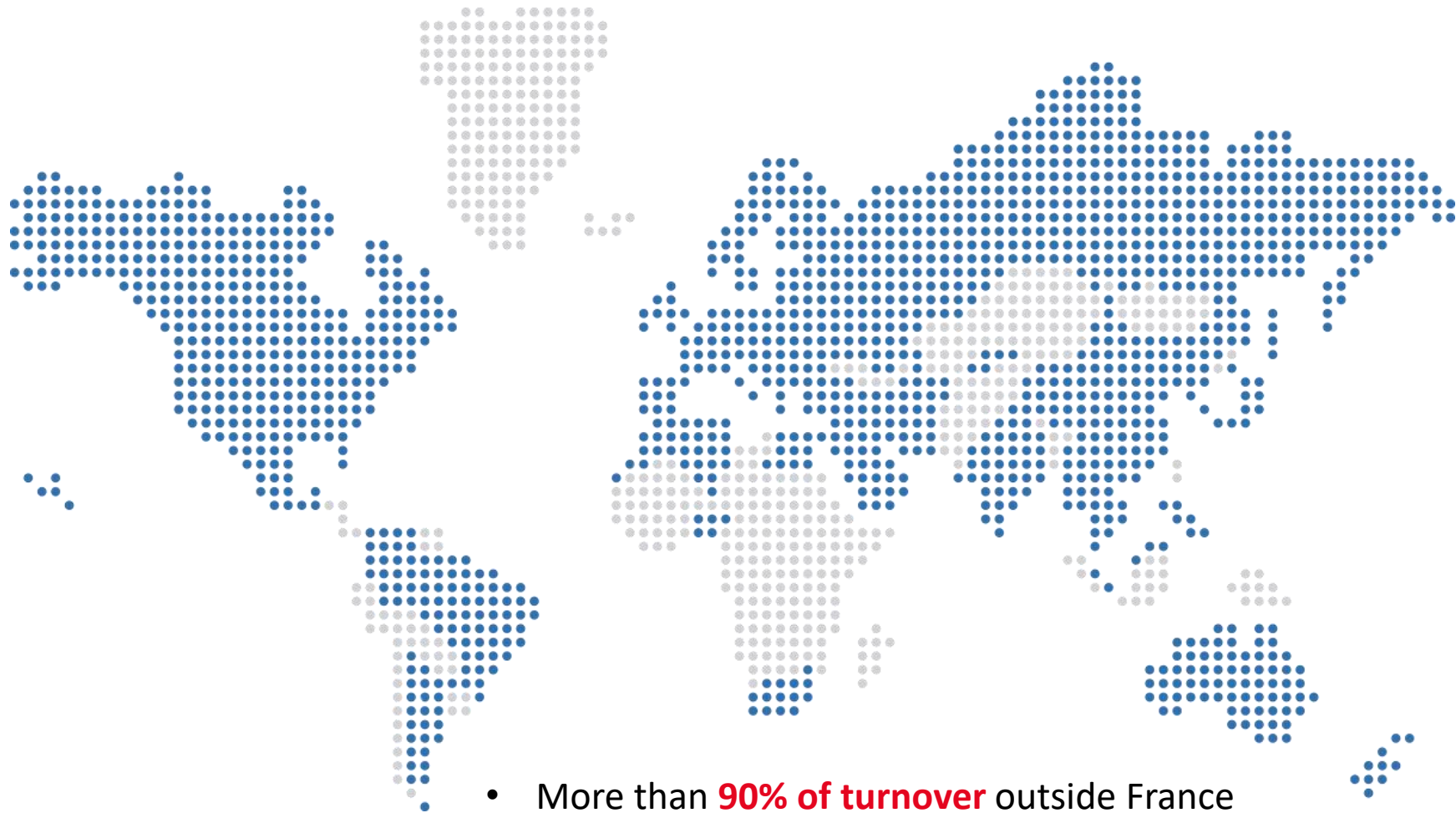
8 Field service technicians



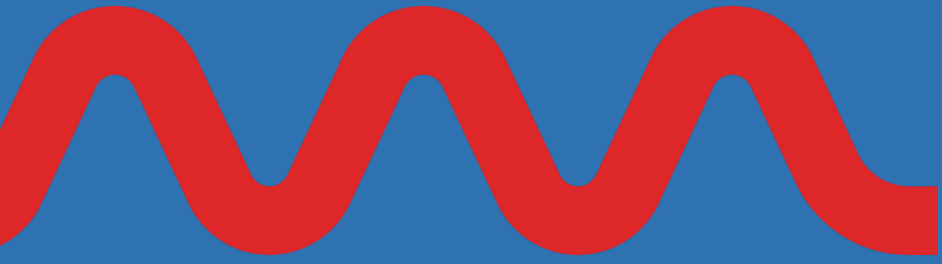
7 nationalities



A worldwide presence



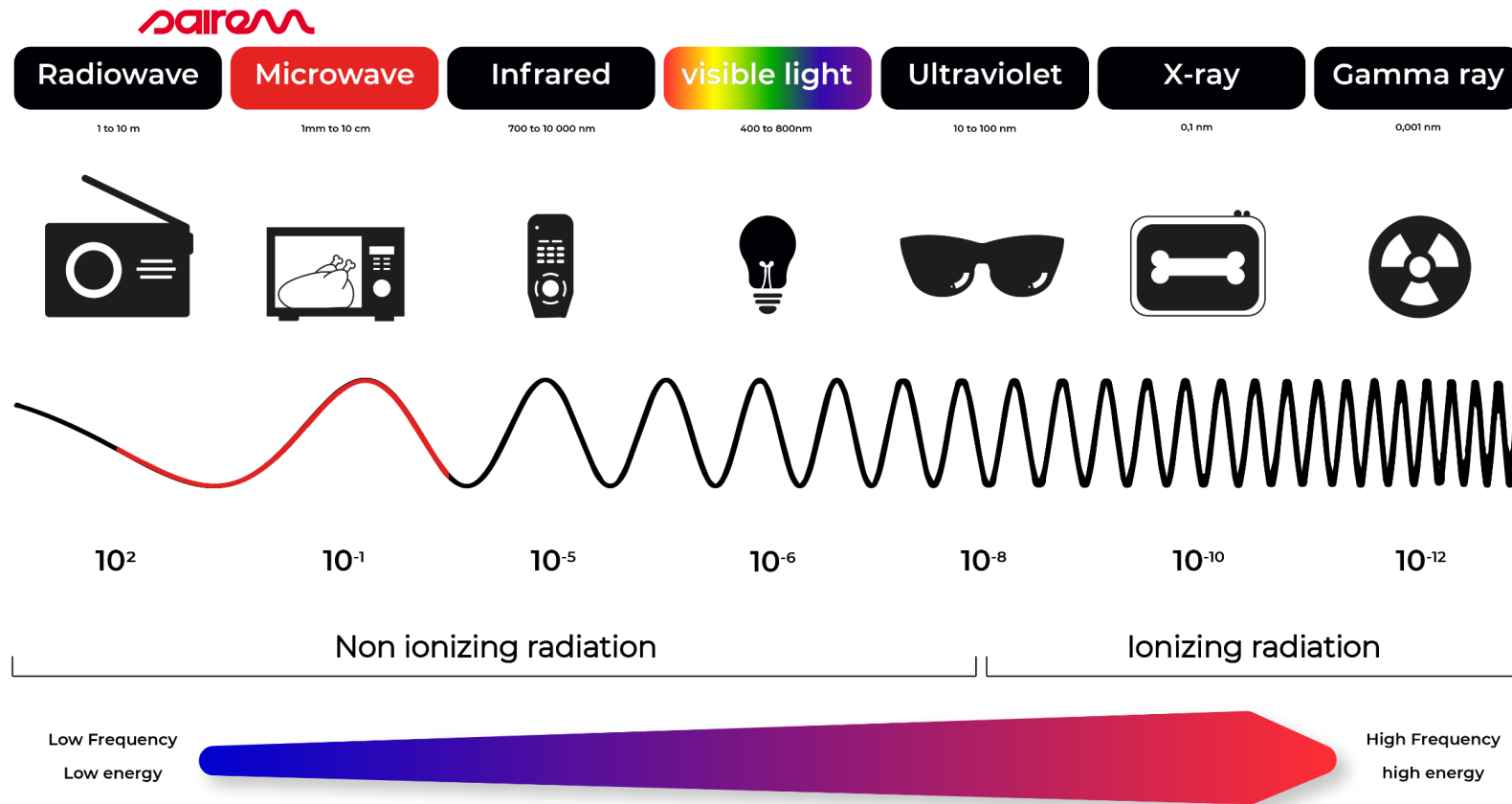
- More than **90% of turnover** outside France
- Customers in **70 countries** around the world



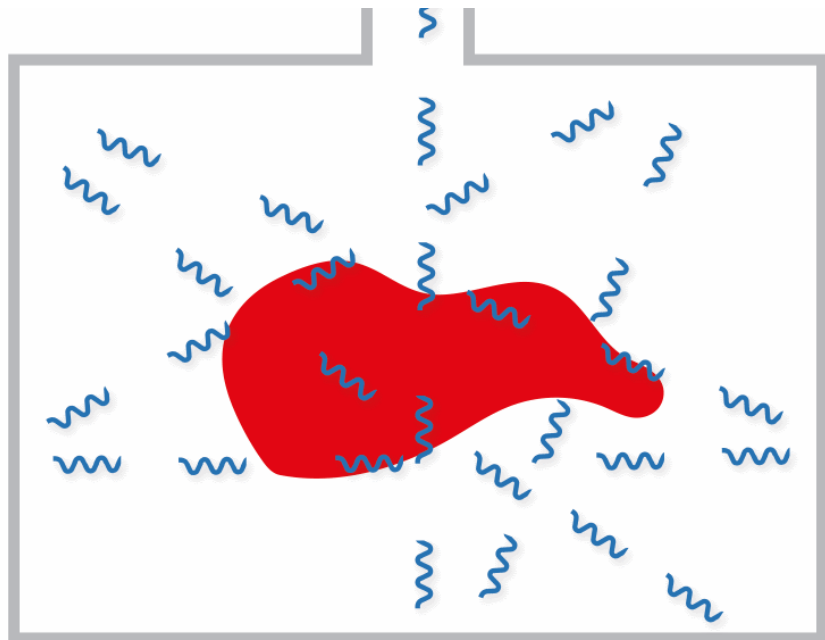
Our technologies



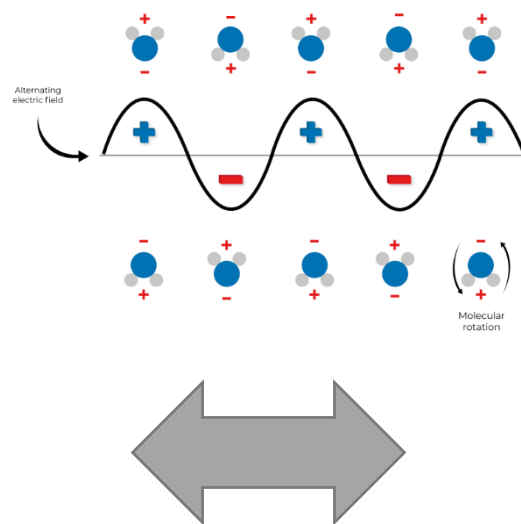
The electromagnetic spectrum



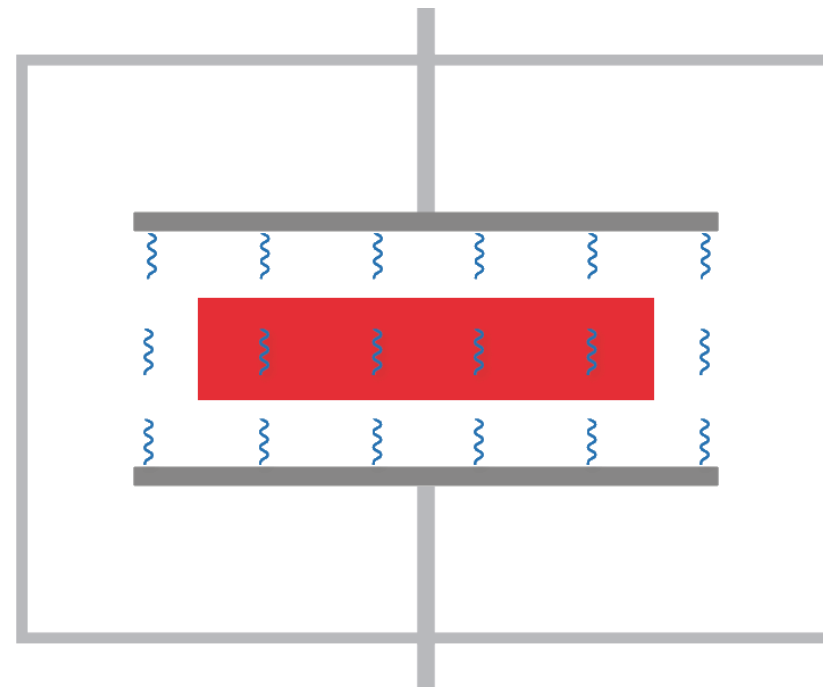
Microwave & RF Principles



Microwave



Dielectric heating



Radio Frequency

Microwave heating key benefits



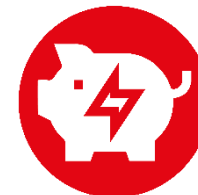
Heating selectivity



Homogeneous volumetric heating



Instantaneous heating



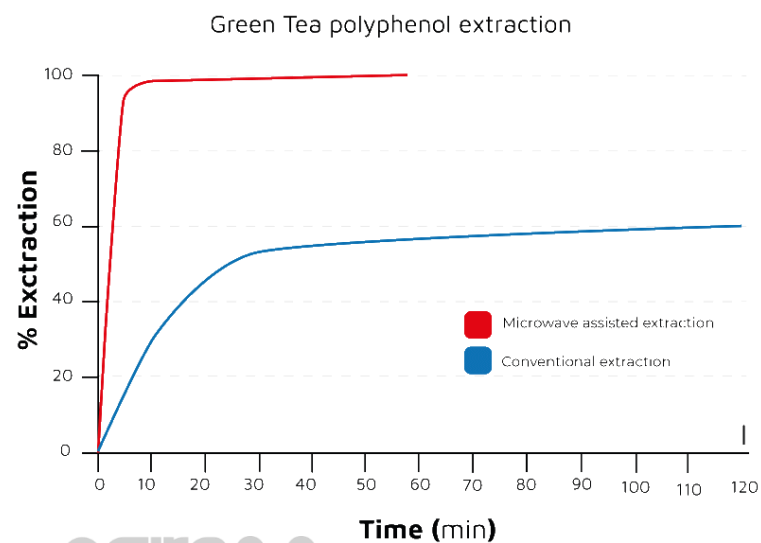
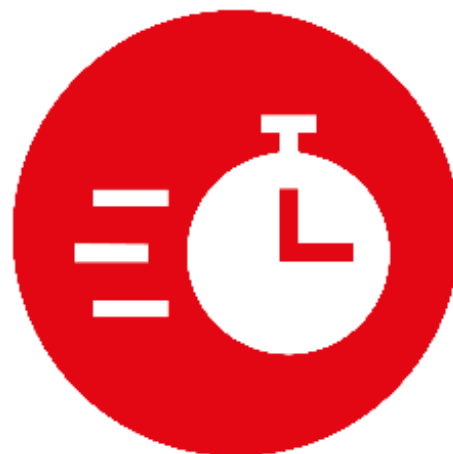
Electrical efficiency (>80% for MW)



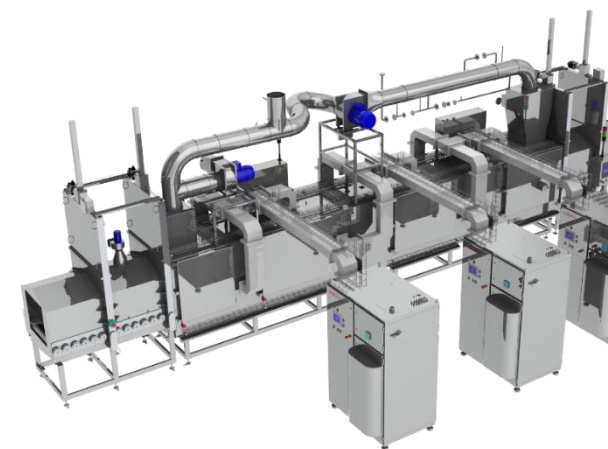
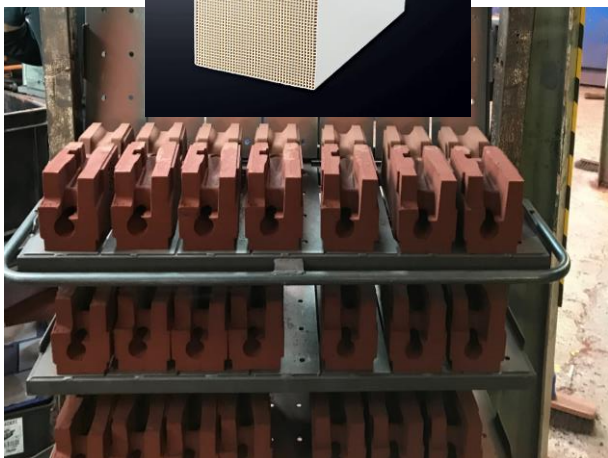
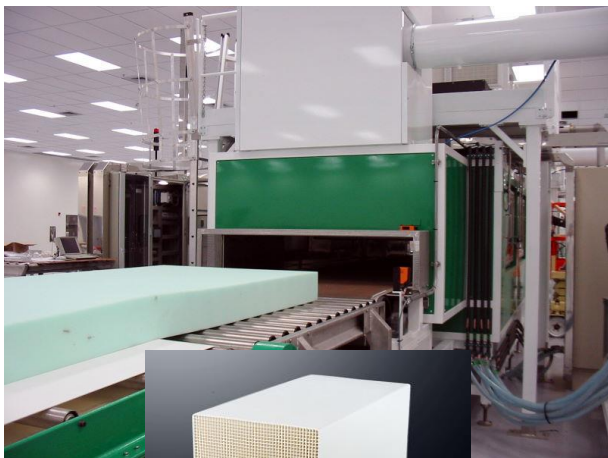
Heating selectivity

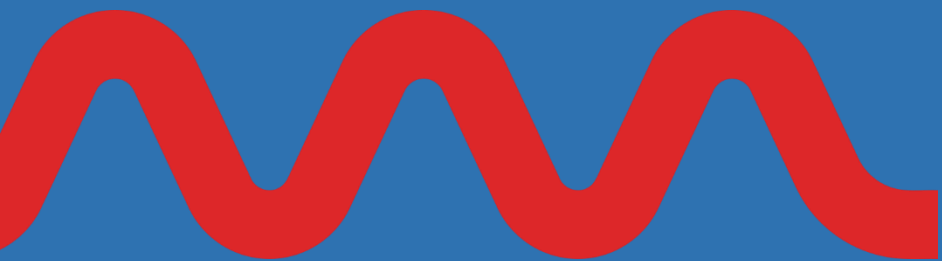


Instantaneous heating



Homogeneous volumic heating





Our solutions





Company activities

COMPANY ACTIVITIES

FOOD PROCESSING
Solutions

INDUSTRIAL
Solutions

PLASMA GENERATION
Solutions

LAB / R&D
Solutions

Tempering
Cooking
Drying
Extraction
Pasteurization
Sanitization
...

Drying
Heating
Catalysis
Polymerization
Vulcanization
...

Chemical Vapor Deposition
Nitriding
Gas abatement
Sterilization
Surface activation
...

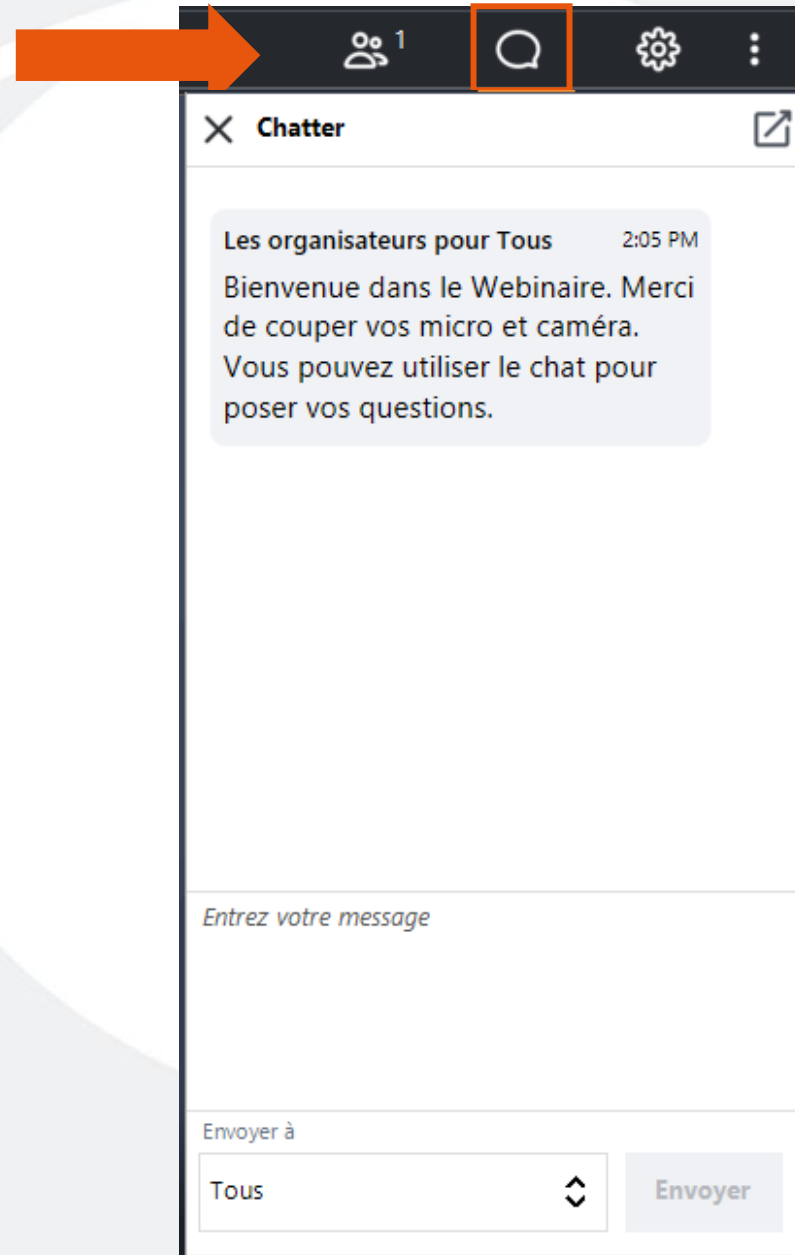
Drying
Extraction
Heating
Sterilization
Wound healing
...



Thank You



Poser vos questions !





Feuille de route 2020 « Potentiel d'électrification des procédés »

Evapo-concentration

Evapo-concentrateur (application lait)

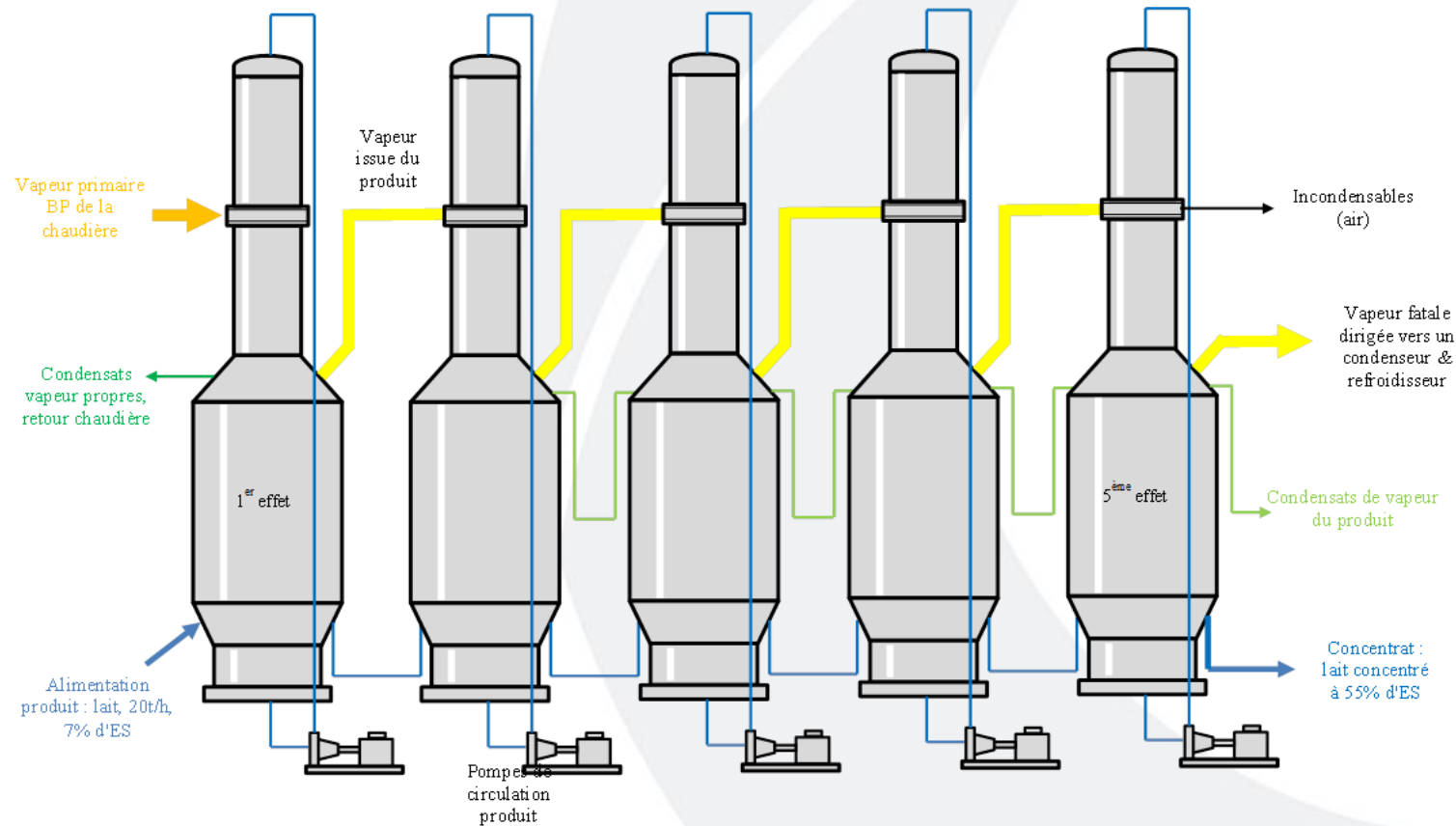
- Données d'entrée :

<u>Caractéristiques produit</u>		
débit de lait entrant	20,0	t/h
Température fonctionnement	70,0	°C
Température point bas (dernier effet)	50,0	°C
T°C entrée produit	60,0	°C
Delta T total produit	20,0	K
CP lait écrémé	3 984,4	kJ/kg.K
Rho lait entrant	1 030,0	kg/m3
Extrait Sec produit entrant	7%	
Extrait Sec produit sortant	55%	
débit extrait sec (ES/h)	1,40	t/h
débit eau évaporée (teev/h)	17,45	teev/h
Débit produit sortant	2,55	t/h
Temps de séjour produit	12,00	minutes
Qté produit moyen dans l'évaporateur	2 353,54	kg

- Le procédé permet de concentrer le lait : extrait sec de 7% en entrée pour 55% en sortie
- Le débit de produit entrant correspond à une installation industrielle de taille conséquente : 20 t/h de produit pour 17,45 teev/h
- En sortie de procédé, le lait est envoyé sur des tours d'atomisation (lait en poudre)

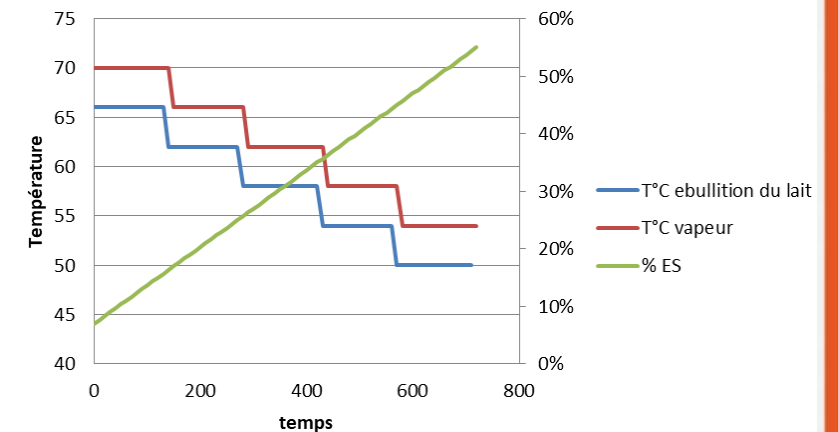
Evapo-concentrateur (application lait)

• Technologies comparées (1/3)



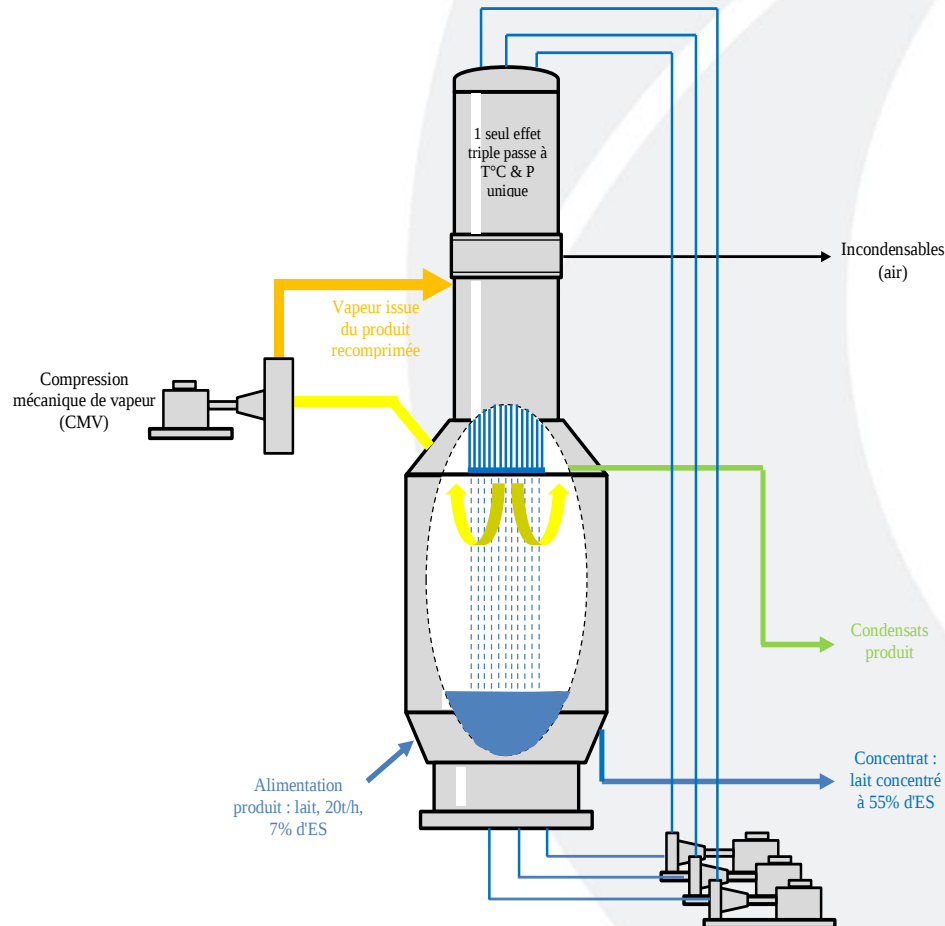
- Évapo-concentrateur 5 effets sans recompression des buées extraites
- 1 passe par évaporateur
- Les vapeur de l'effet N sont introduites dans l'effet N+1
- Technologie de base correspondant à de « vieilles installations »

5 effets sans recompression



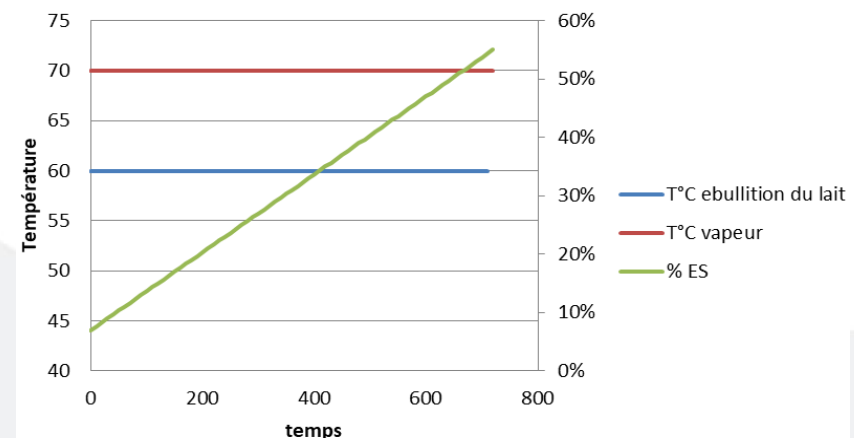
Evapo-concentrateur (application lait)

• Technologies comparées (2/3)



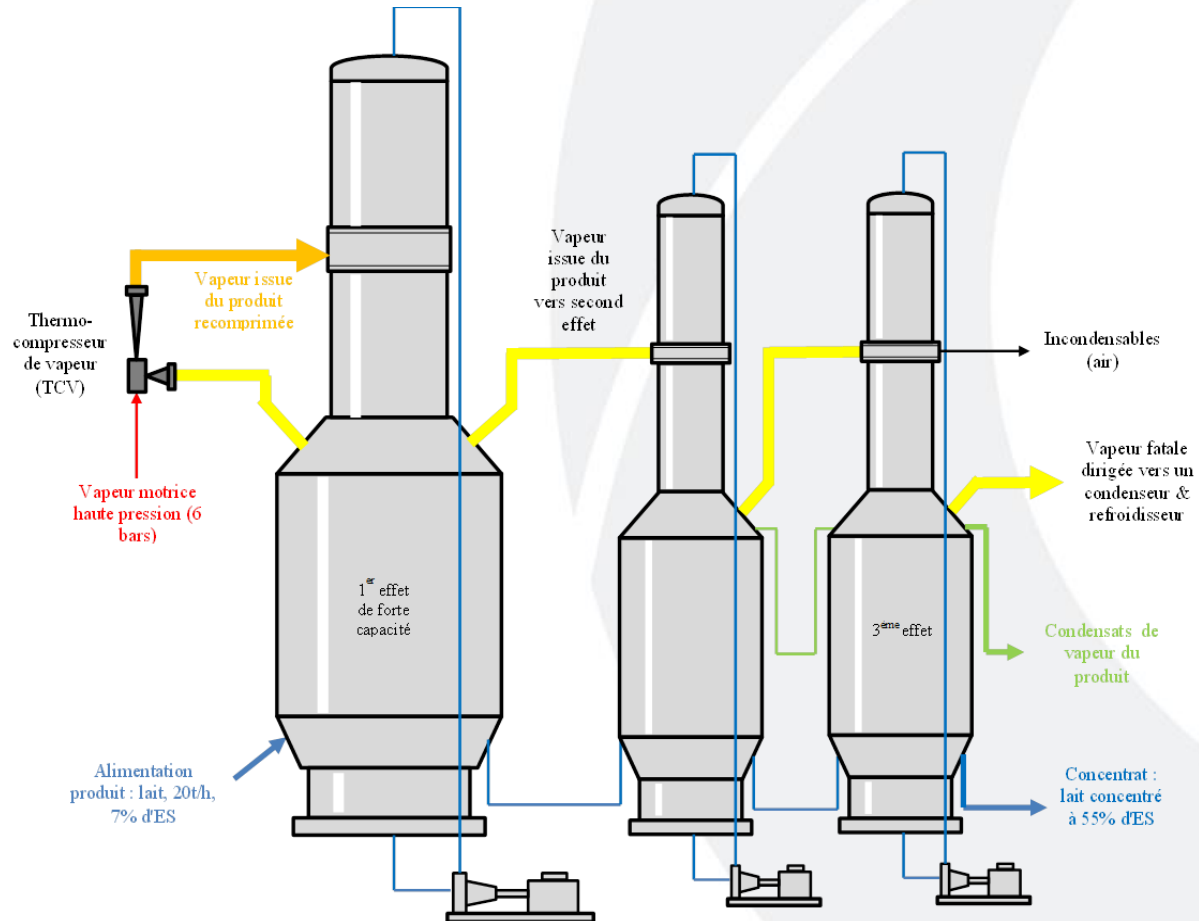
- Évapo-concentrateur 1 effet avec recompression mécanique des buées extraites (CMV)
- Évaporateur multi-passes : 3 passages
- Les vapeurs sont recomprimées par le ventilateur et réintroduites dans le corps de chauffe, delta T de l'ordre de 10 K
- Technologie employée sur des installations neuves ou en revamping d'anciennes installations pour augmenter la cadence de production

CMV 1 effet & 3 passes

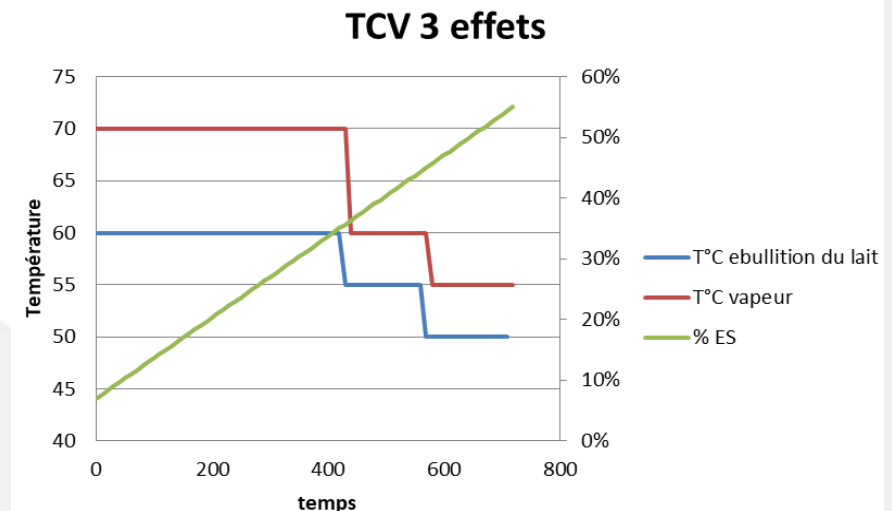


Evapo-concentrateur (application lait)

• Technologies comparées (3/3)



- Évapo-concentrateur 3 effets avec recompression thermique des buées sur le premier effet (TCV)
- Évaporateurs à 1 passe
- Les vapeurs sont recomprimées par le thermo-compresseur et réintroduites dans le premier effet de forte capacité. Les 2 effets suivants terminent la concentration
- Technologie employée en revamping d'anciennes installations pour augmenter la cadence de production



Evapo-concentrateur (application lait)

- Consommations d'énergie spécifiques et fonctionnement du procédé

<u>Cs technos (kWh/teév)</u>			
IPE (5E sans RV)	170,0	kWhvap/teev	
	233,1	kg vap/teev	
IPE (CMV)	15,0	kWhé/teev	
	2,0	kWhvap/teev	
	2,7	kg vap/teev	
IPE (TCV)	120,0	kWhvap/teev	
	164,5	kg vap/teev	

- La techno 5 effets dans recompression consomme de la vapeur basse pression (évaporation limitée à 70°C pour éviter de dégrader le produit)
- La techno CMV consomme très peu de vapeur primaire, mais de l'énergie électrique au ventilateur
- La techno TCV quant à elle consomme de la vapeur primaire BP pour alimenter le procédé ainsi que la vapeur HP pour le thermo-compresseur



Evapo-concentrateur (application lait)

- Autres données d'entrée

<u>Consommation d'énergie annexes</u>		
Puissance pompage produit	10,0	kWé
Puissance pompage eau de vache	2,0	kWé
Pompe tirage au vide	5,0	kWé
EER refroidisseur (Dry cooler)	15,0	-
Refroidissement vapeur fatale (5E sans RV)	182,3	kWé
Refroidissement vapeur fatale (CMV)	2,1	kWé
Refroidissement vapeur fatale (3E TCV)	128,7	kWé

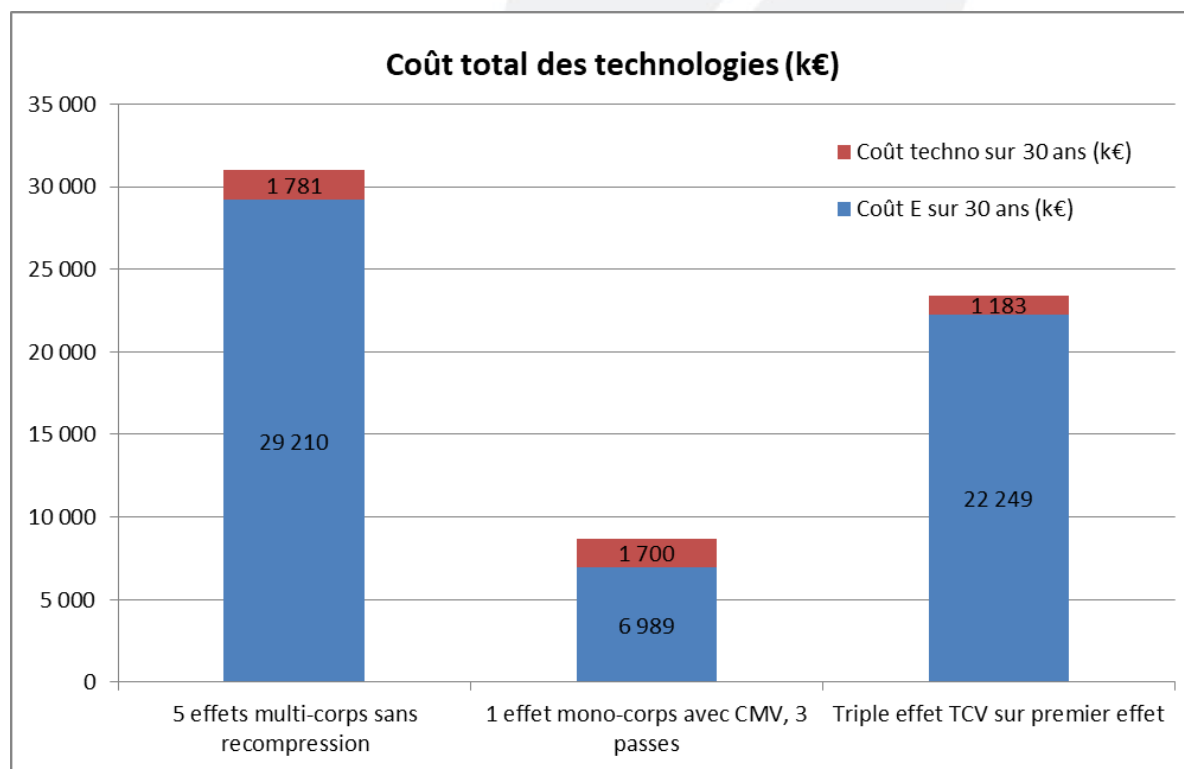
Coût énergie		Emissions
Energie	€/MWh	kg CO2/MWh
Gaz naturel	30	204
Electricité	70	57
Coût de la tonne de CO2 (€/T)		25

- Les pompes d'alimentation du produit, d'évacuation des condensats (« eau de vache ») et de tirage au vide consomment de l'électricité
- Les vapeurs « fatales », en sortie du dernier effet de concentration, doivent être condensées et refroidies. L'efficacité du refroidissement est pris égal à 15 kWh électrique / kWh thermique dissipé (drycooler). On note qu'il y a peu de vapeur fatale dans le cas de la CMV.

Evapo-concentrateur (application lait)



• Principaux résultats : volet économique

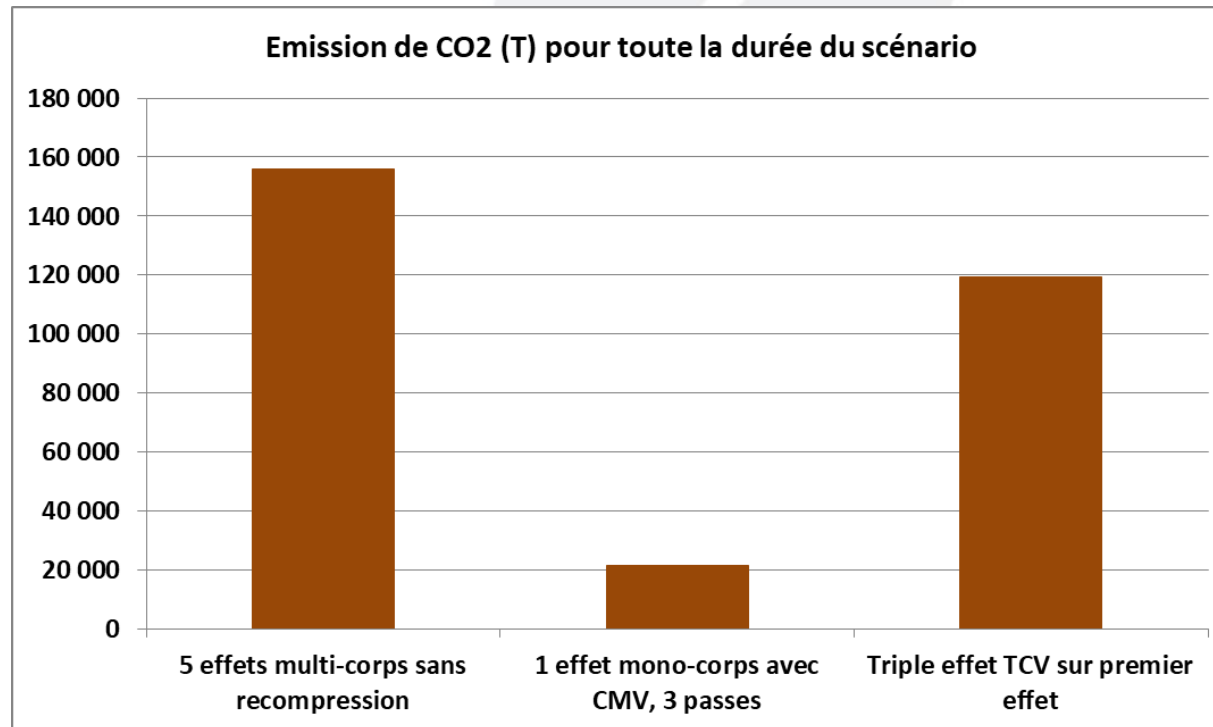


- Avantage indéniable de la CMV sur le coût énergétique (1/3 de la seconde meilleur techno), bien que l'électricité soit plus chère que le gaz naturel
- La technologie à faible CAPEX est la TCV, 1/3 moins chère
- L'OPEX est cependant largement prépondérant sur une analyse coûts à 30 ans.
- CMV et TCV peuvent être installées en revamping d'installations existantes
- Note : l'analyse prend en compte le coût CO2 (25 € / tonne)

Evapo-concentrateur (application lait)



- Principaux résultats : volet CO2

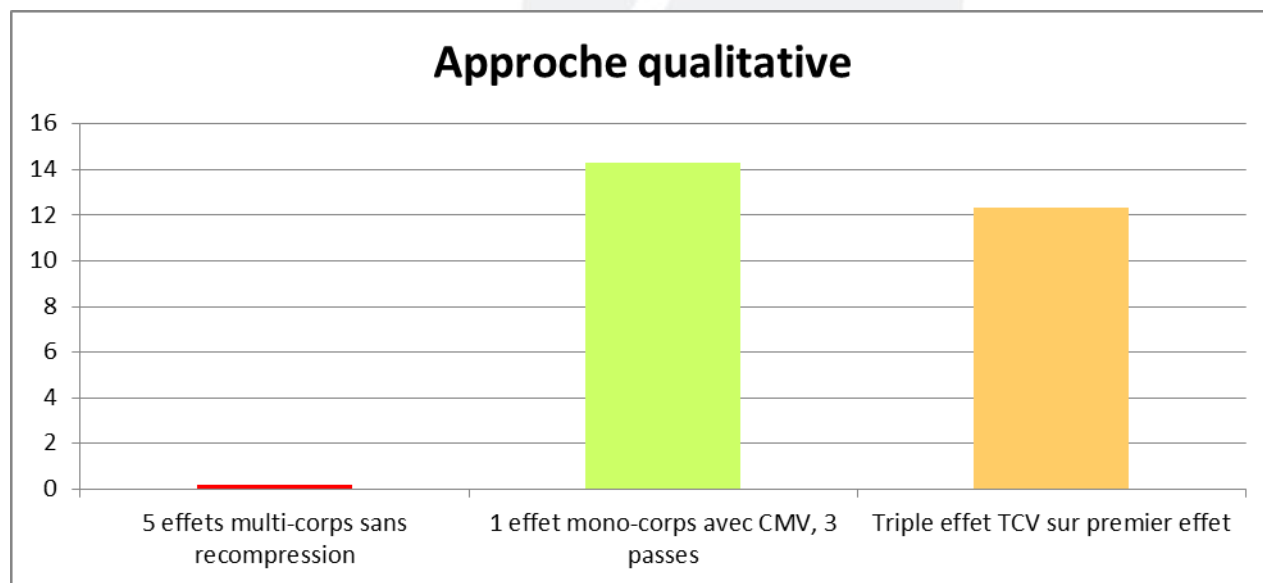


- La CMV, ne consommant que très peu de vapeur, est largement avantagée sur le volet CO2 : environ 20 kT CO2 seulement, contre 120 kT pour la TCV et plus de 150 kT pour le 5 effets sans recompression
- La TCV permet de décarboner légèrement le procédé vis à vis du 5 effets sans recompression

Evapo-concentrateur (application lait)

- Principaux résultats : approche qualitative & conclusions

Approche qualitative	énergie	Emission de CO2 (T)	Energie (GWh)	Coût techno sur 30 ans (k€)	Note moyenne
		note	note	note	
5 effets multi-corps sans recompression	mixte	0	0	0	0
1 effet mono-corps avec CMV, 3 passes	mixte	20	20	3	14
Triple effet TCV sur premier effet	mixte	11	6	20	12



➤ Le 5 effets sans recompression n'est ni bon marché, ni intéressante à l'investissement. Elle ne permet par ailleurs pas de décarbonner le procédé. C'est une technologie dépassée qui ne doit plus être déployée

✓ La TCV reste pertinente dans le cas d'un revamping, de faibles capacités d'investissement ou encore de sites limités en puissance électrique

✓ La CMV reste cependant la meilleure technologie disponible, bien qu'elle soit environ 30% plus chère que la TCV



Evapo-concentrateur (application lait)



Technologie	Intérêts	Freins
CMV	- Performance énergétique - Mature et très bien diffusée dans l'industrie laitière pour installations de forte capacité - Coûts d'investissement en neuf équivalents aux unités traditionnelles	- Le revamping d'installations (ajout d'une CMV) peut être compliqué à mettre en place - Besoin de se focaliser sur les installations anciennes et les secteurs en croissance où de nouvelles installations sont envisagées - Les gains énergétiques dépendent souvent d'une application -> étude de cas REX - Maintenance machine tournante CMV
TCV	Solution concurrente thermo-compression (TCV) Compromis entre multiple effets et CMV en termes de coûts (↓30%/CMV) et de coûts OPEX (↓25%/ multiple effet)	

Evapo-concentrateur (application lait)

- **Ouvertures :**

- L'investissement dans une CMV peut être aidé via le dispositif CEE spécifique
- Vu les avantages démontrés de la technologie, l'électrification de ce procédé pourrait faire l'objet d'une fiche CEE standard ce qui simplifierait la démarche pour les industriels demandeurs
- Le cas d'étude présenté est facilement transposable à d'autres applications industrielles : concentration de boues, amidonneries, sucreries, production de sel marin, concentration de lies (distilleries) ...



Evaporation – Cristallisation – Stripping - Efficacité énergétique

-

contact@evaporation.fr / +33.(0)3.20.00.17.50



Z.I. A de Seclin
Rue René Cauche
59139 Noyelles les Seclin FRANCE

Présentation de la compagnie

Historique:

- 1989: Encadrants actuels issus de KESTNER (Dorénavant GEA)



-
- 1989 - 2001 : Création du département évaporation de Favier/Setrem



FAVIER
SETREM

Département évaporation

-
- 2001 - 2011 : Création de France Evaporation avec SNF Floerger



-
- 2012 – Maintenant: indépendance de France Evaporation



Présentation de la compagnie

Chiffres d'affaires:

- 2016: 11 M€
- 2017: 14 M€
- 2018: 20 M€
- 2019: 20 M€
- 2020: 24 M€

Effectif - 45 personnes

(ingénieurs / dessinateurs / automatisme)

Marché:

- 60% à l'étranger
- 40% en France



Présentation de la société

Evaporation:

- Flots tombant (FT);
- Circulation force (CF);
- Evaporateur sous vide;
- Refroidissement par ballon flash.

Cristallisation:

- Circulation force (CF);
- Draft Tube (DT);
- Draft Tube Baffle (DTB);
- OSLO;
- Indirect Forced Circulation (IFC®).

Stripping (vapeur):

- Garnissage structuré;
- Garnissage vrac.

Efficacité énergétique:

- Compression Mécanique de Vapeur(CMV);
- Multiples effets;
- Thermocompression.

Ils nous ont fait confiance

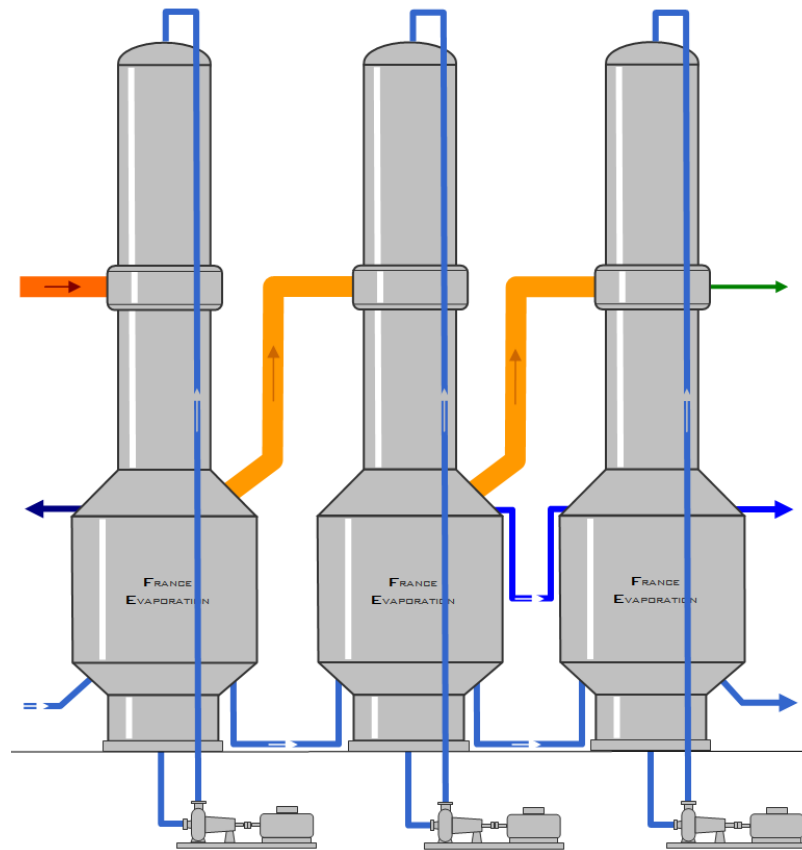


Exactly your chemistry.



Efficacité énergétique

Multiples effets

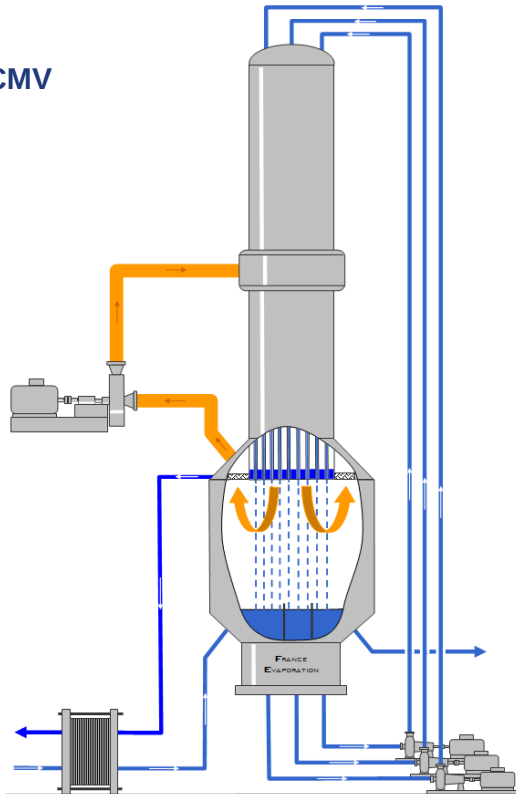


Efficacité énergétique

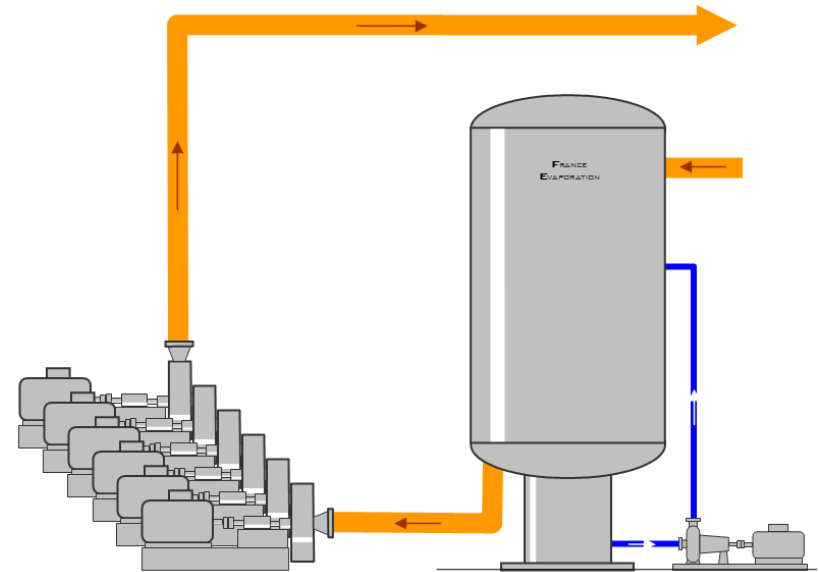
Compression Mécanique de Vapeur (CMV)

200 CMV
installés partout
dans le monde

- Installation CMV

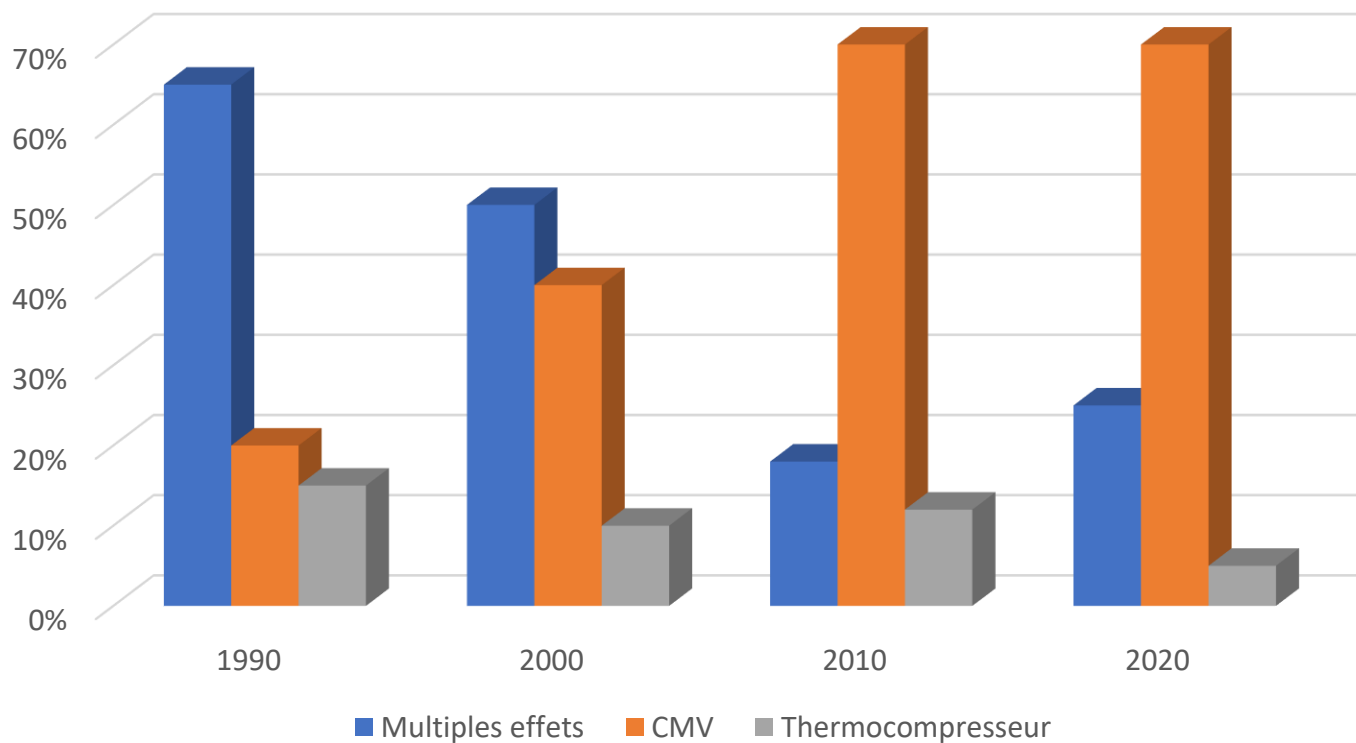


- Modification de multiples effets à CMV



Efficacité énergétique

Evolution des technologies installées par FE dans le temps

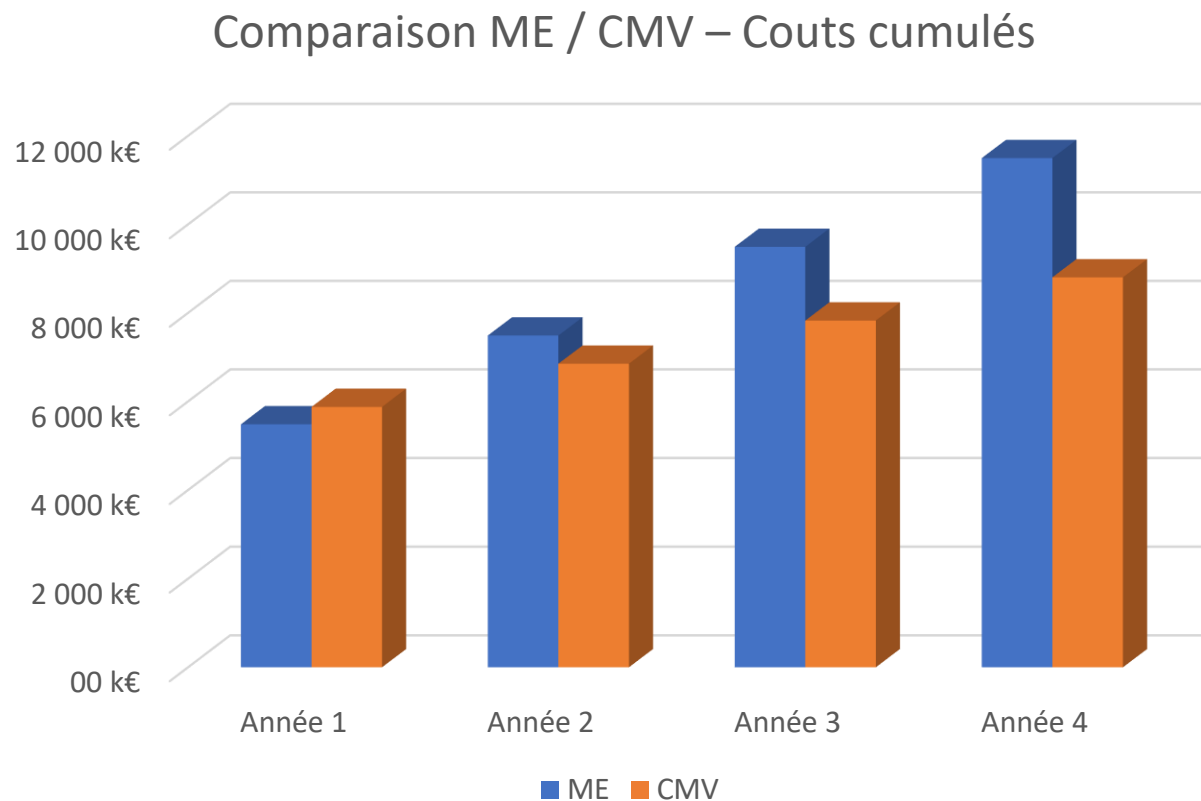


Etude de cas – Nouvelle unité

Etude de cas – Nouvelle unité

Scenario		1	2
Technical description	Solution	Evaporator 5 effects	Evaporator in MVR
	Thermal description	Feeding of the 1st effect with steam > 3 bar g.	Evaporation by MVR. Thermal supplement by steam > 0.5 bar g.
	Evaporator description	1st effects in FC (Forced circulation) 2nd to 5th effect in FF (Falling Film)	1 main evaporator in FF 2 stages of FC for finishing
	Estimated footprint	190 square meters	150 square meters
OPEX	Steam cost	15 €/t - approx. 20€/MW therm	
	Electrical cost	65 €/MW elec	
	Workign time	7884 hour/year	
	Steam consumption	15.3 t/hr	0.9 t/hr
	Electrical consumption	380 kW	1650 kW
	Working cost		
CAPEX	Hourly	254 €/hour	121 €/hour
	Annual	2 004 k€/year	952 k€/year
	Investment (turnkey without transport)	2 950 k€	4 000 k€
	Other cost (Building, framework, civil work, transformer...)	550 k€	870 k€
	Total	3 500 k€	4 870 k€

Etude de cas – Nouvelle unité



Etude de cas – Nouvelle unité

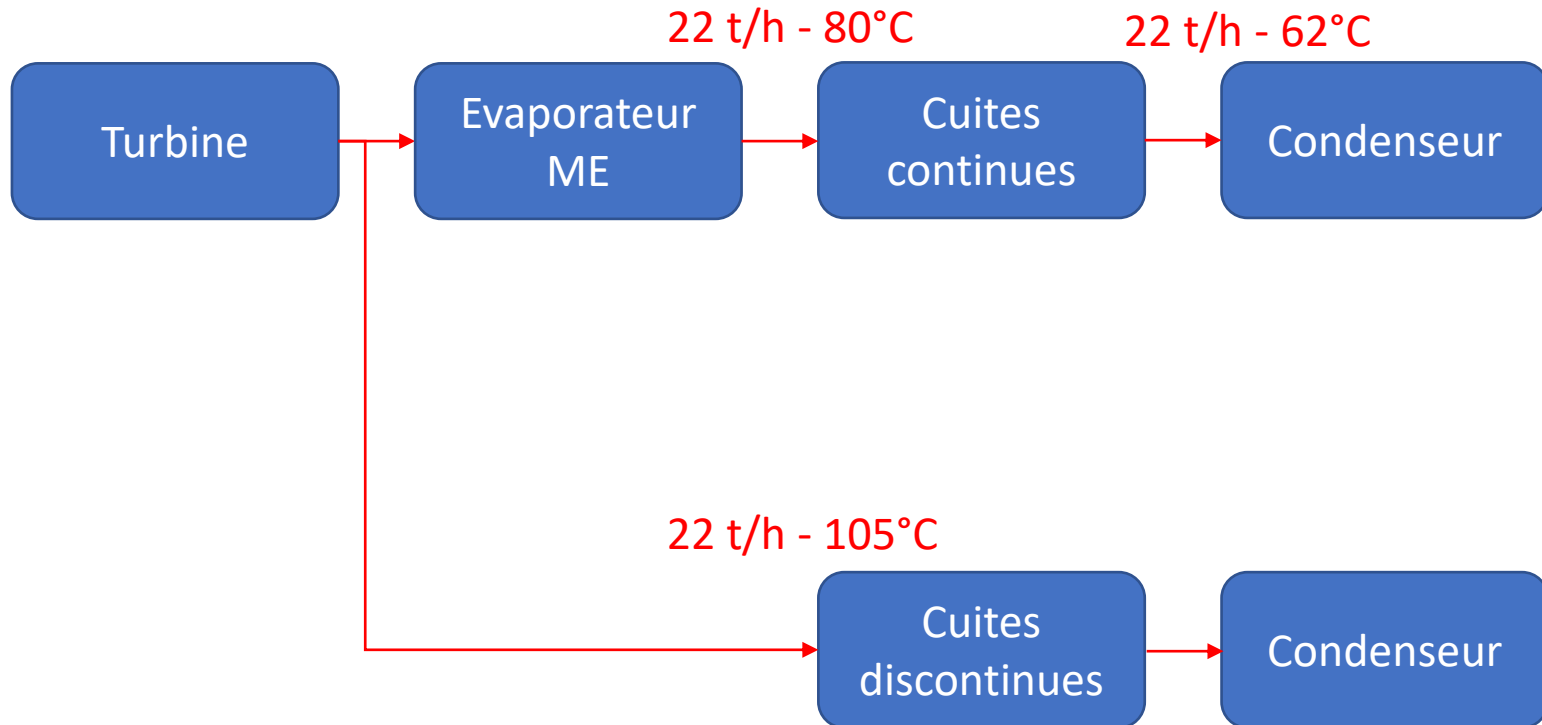
Comparatif ME	Comparatif CMV
• CAPEX réduit; • Pas de contraintes sur arrivée électrique usine (transformateur...); • Capacité ajustable de 10 à 100%; • Flexibilité démarrage/reprise; • Habitudes usines/ingénieries.	• OPEX réduit; • Facilité d'implantation; • Réduction empreinte CO2; • Subvention CEE : • Variateur – fiche standard; • CMV – Sur dossier.

Etude de cas – Revamping unité

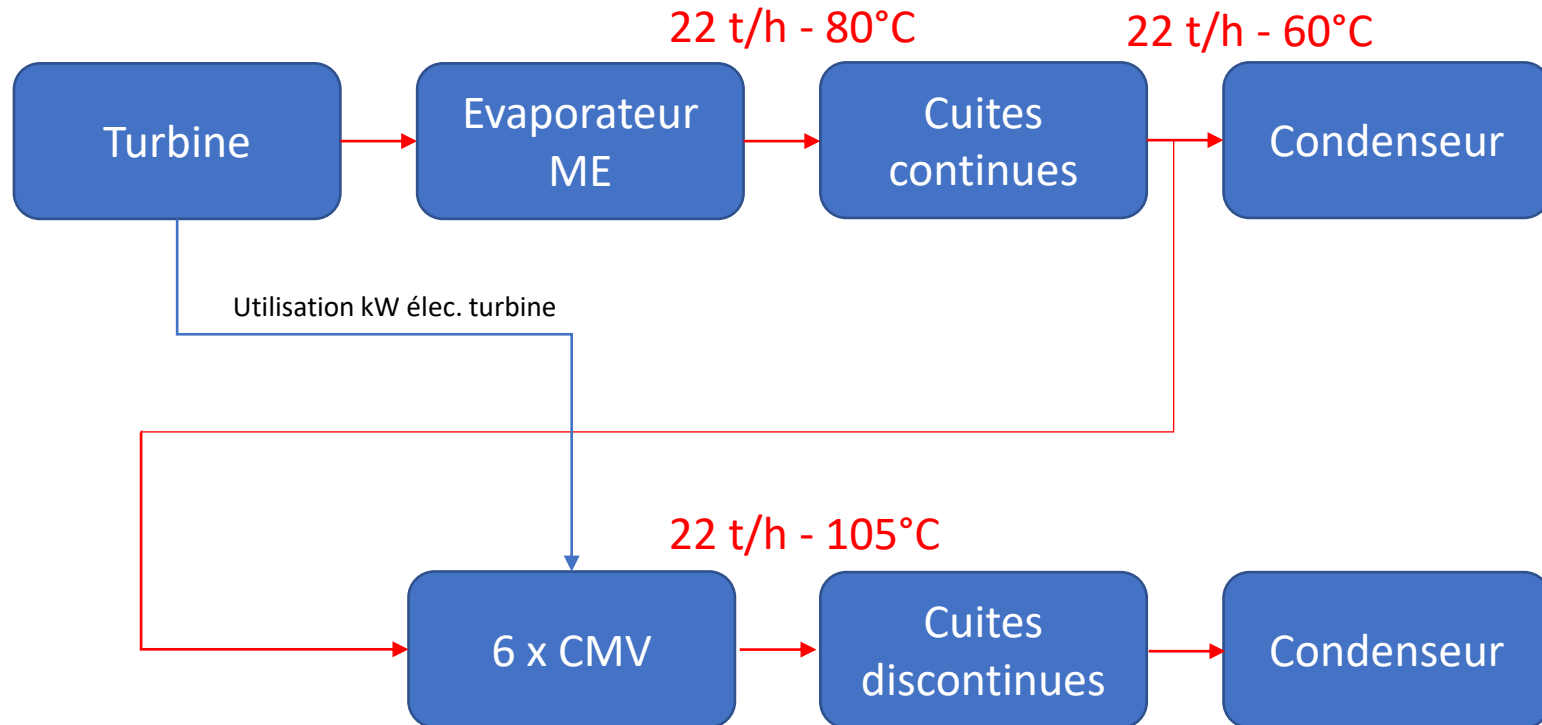
Etude de cas – Revamping unité

- Unité en ME/Thermocompression:
 - CMV en parallèle.
 - CMV en série.
- Valorisation source énergie fatale basse température:
 - CMV en série.

Etude de cas – Revamping unité



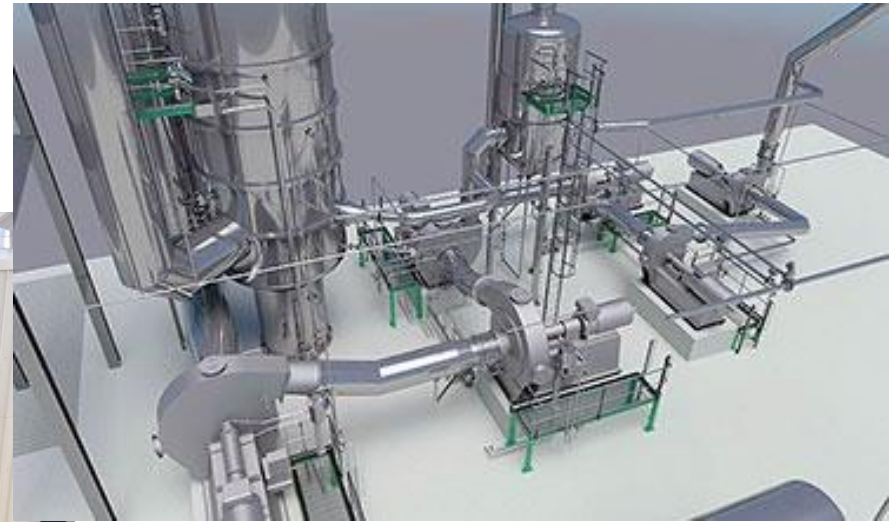
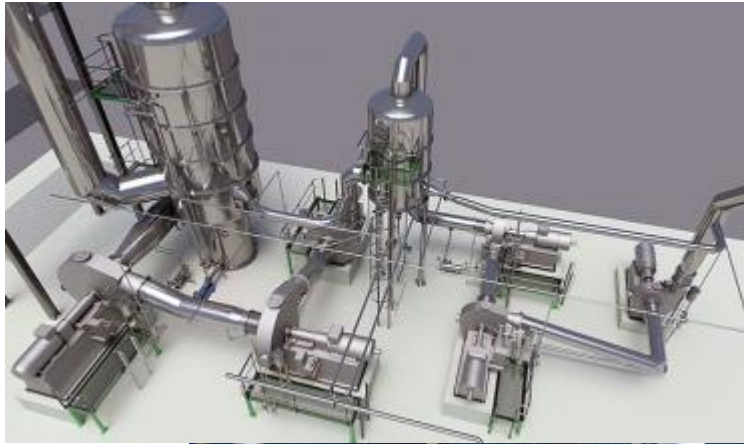
Etude de cas – Revamping unité



Etude de cas – Revamping unité

	Avant revamping	Après revamping
Consommation électrique	0,2 MW	2,8 MW
Consommation thermique	15 MW	0,7 MW
Consommation total	15,2 MW	3,5 MW

Etude de cas – Revamping unité



Merci pour votre attention

Olivier Dehay – odehay@evaporation.fr

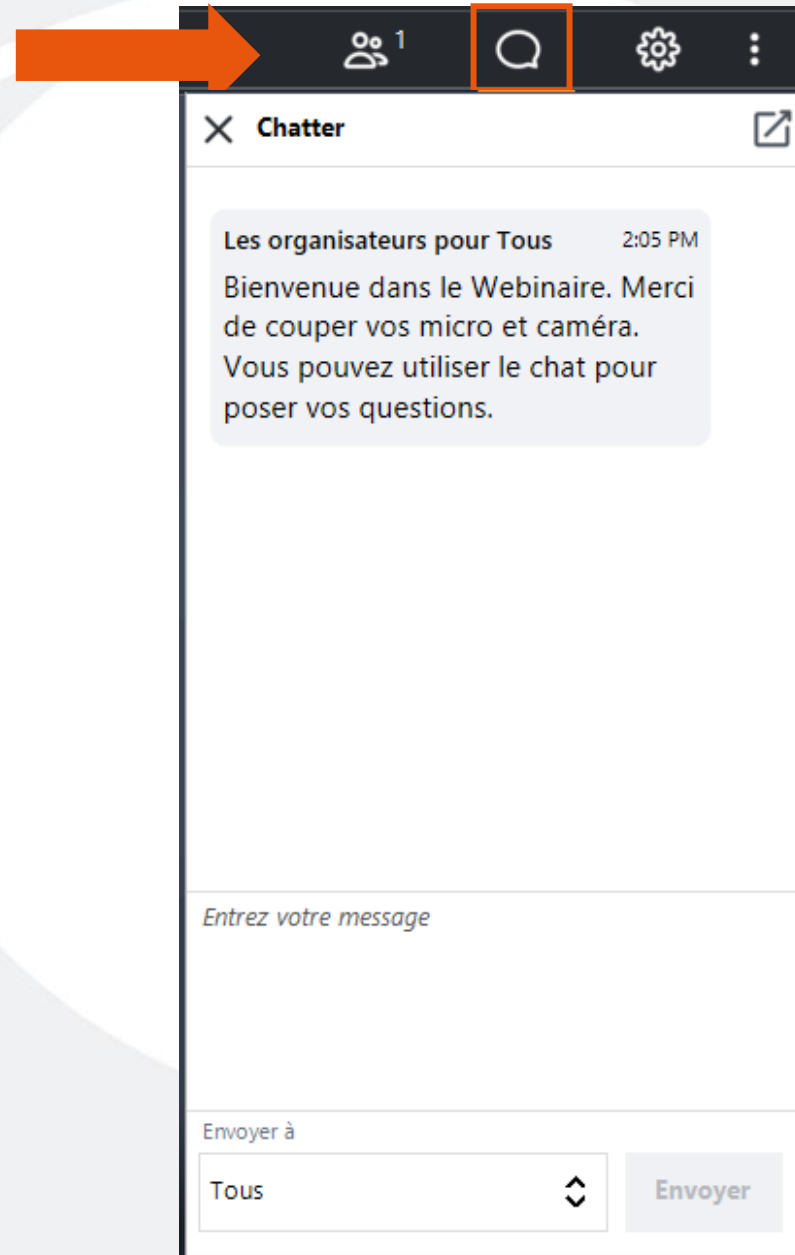


Evaporation – Cristallisation – Stripping - Efficacité énergétique

-

contact@evaporation.fr / +33.(0)3.20.00.17.50

Poser vos questions !





Feuille de route 2020 « Potentiel d'électrification des procédés »

Fours BT/HT

Périmètre de l'étude

Etudes de cas : Four Batch HT et Four tunnel BT

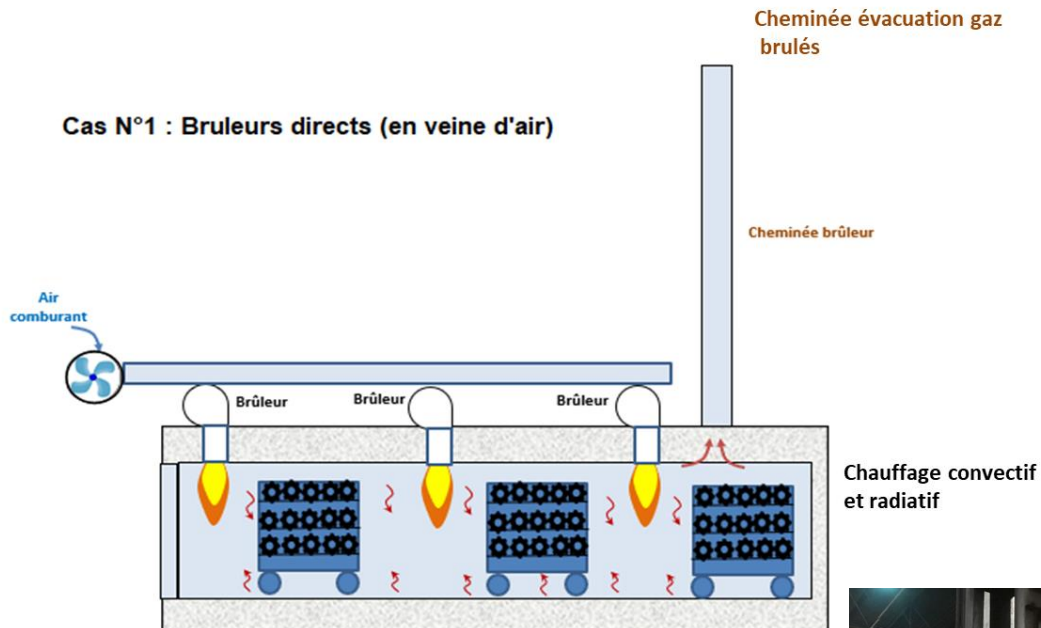
<i>Caractéristiques techniques</i>	Evapo-concentration	Pasteurisation	Four batch	Four tunnel	Sécheur tunnel
Secteurs d'application, domaines d'application	IAA, Chimie, Agriculture, mécanique	Médical, agroalimentaire, chimie	Mécanique, métallurgie, Agroalimentaire, Verre, Céramique	Mécanique, métallurgie, Agroalimentaire, Verre	Agro-alimentaire, mécanique, céramiques, briques & tuiles
Température procédé (°C)	50°C à 110-150 °C max.	70°C jusqu'à 180°C	De 150°C jusqu'à 1000°C	De 80°C jusqu'à 1200°C	<100°C à 200°C
Cycle de fonctionnement	Continu	Continu, avec arrêt WE	Discontinu en fonction des charges	Continu	Continu, avec arrêt WE
Gamme de puissance (kW)	10 kW à 10 MW	De quelques kW à plusieurs centaines de kW	De quelques kW à plusieurs dizaines de MW	De quelques kW à plusieurs MW	100 kW à plusieurs milliers de kW

Fours à Charges Hautes Températures

- Procédés Thermiques principalement utilisés en Mécanique/Métallurgie et Tuiles/ Briques
- Si présent poste énergétique très important et souvent au gaz naturel (Sauf fours sous vide exclusivement électriques)
- Importance de l'aspect de décarbonation
- Nombreuses technologies de chauffage disponibles
- Ce type de procédé est très peu adapté à l'intégration de technologies de chauffage ENR(PAC notamment) vus les niveaux de température (400°C- 3000°C et plus). Emploi du biométhane envisageable.

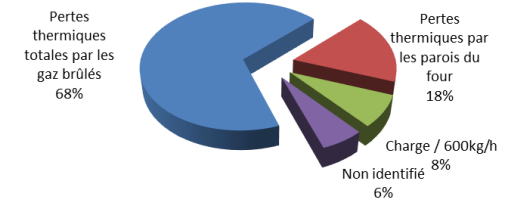
Étude de cas : Fours à charges HT

- Double four de chauffe de barres et couronnes métalliques avant forgeage.
- Puissance thermique totale : 1400 kW.
- Pas de support de charge : pièces sur sole.
- Température de 800 à 1100°C en fonction des pièces
- Fonctionnement en 3 x 8 heures.

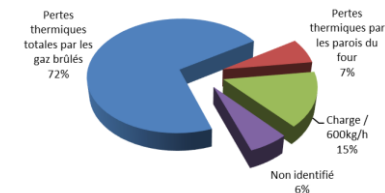


Source : CETIM, Cetiat

Répartition des pertes four couronne



Répartition des pertes four barre



Scénario de travail -> Énergies / Émissions CO2

Technologie	Energie	η appareil	Coût total de l'énergie avec taxe CO2 sur le scénario	Cout total CO2 sur la durée du scénario
		PCS	€	€
Solution initiale	GN	75	1 322 676	192 184
	Elec	100	68 300	1 363
Solution GN Bruleur Neuf	GN	95	1 044 218	151 724
	Elec	100	68 300	1 363
Solution amélioration tirage et étanchéité	GN	85	447 135	64 968
	Elec	100	68 300	1 363
Electrification Four	Elec	100	1 292 104	25 779

η appareil : rendement thermique de la technologie de chauffage

Coût énergie		Emissions	Taux de gaz vert
Energie	€/MWh	kg CO2/MWh	%
Gaz naturel	30	204	0
Electricité	70	57	
Coût de la tonne de CO2 (€/T)		25	

Données 2020

Comparaison des technologies de chauffage -

> Scénario : échéance 2050

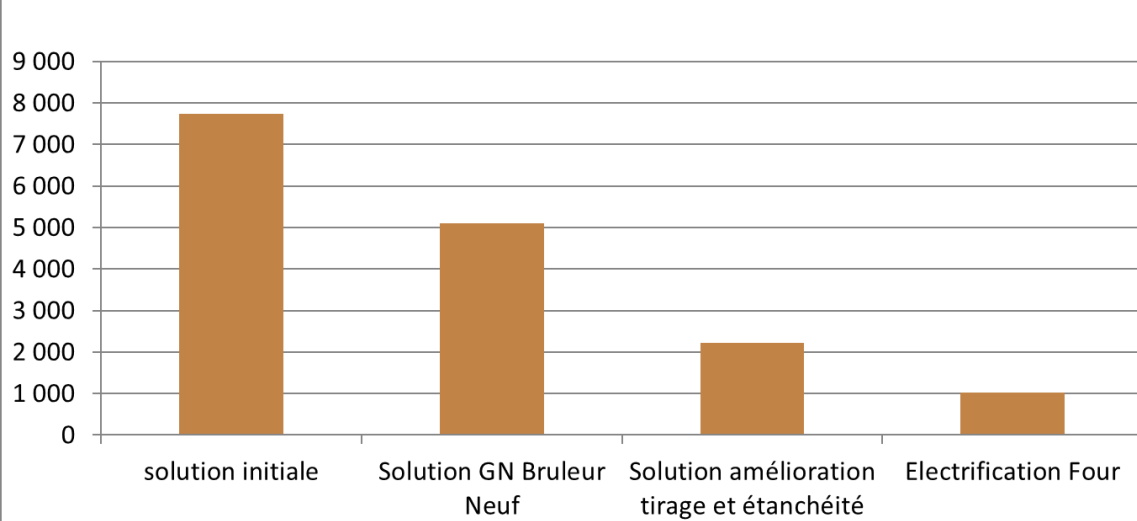
- Deux énergies : gaz / électricité
- Améliorations testées sur le four actuel

Technologie	Energie principale	Emission de CO2	Energie	Coût énergie& taxe CO2	Coût techno	Coût techno (% du coût total)	Coût Total
		t	GWh	k€	k€	%	k€
solution initiale	GN	7 742	32	1 391	0	0	1 391
Solution GN Bruleur Neuf	GN	5 103	26	1 113	122	10	1 235
Solution amélioration tirage et étanchéité	GN	2 211	11	515	164	24	679
Electrification Four	Electricité	1 031	15	1 292	378	18	2 048

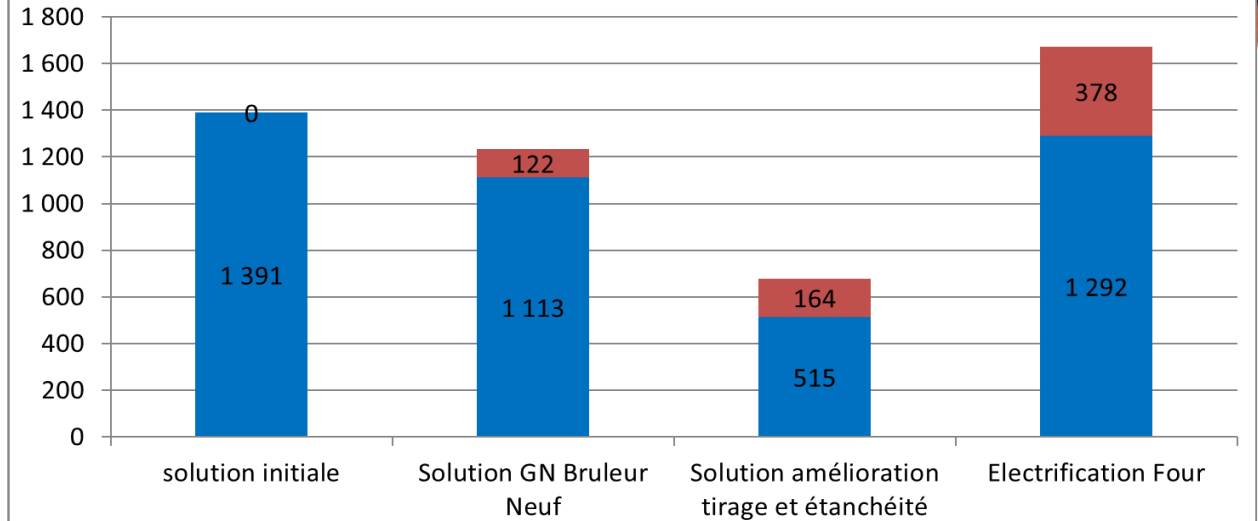
Scénario considéré :
- échéance 2050, les coûts des énergies sont ceux actuels 2020

Synthèse

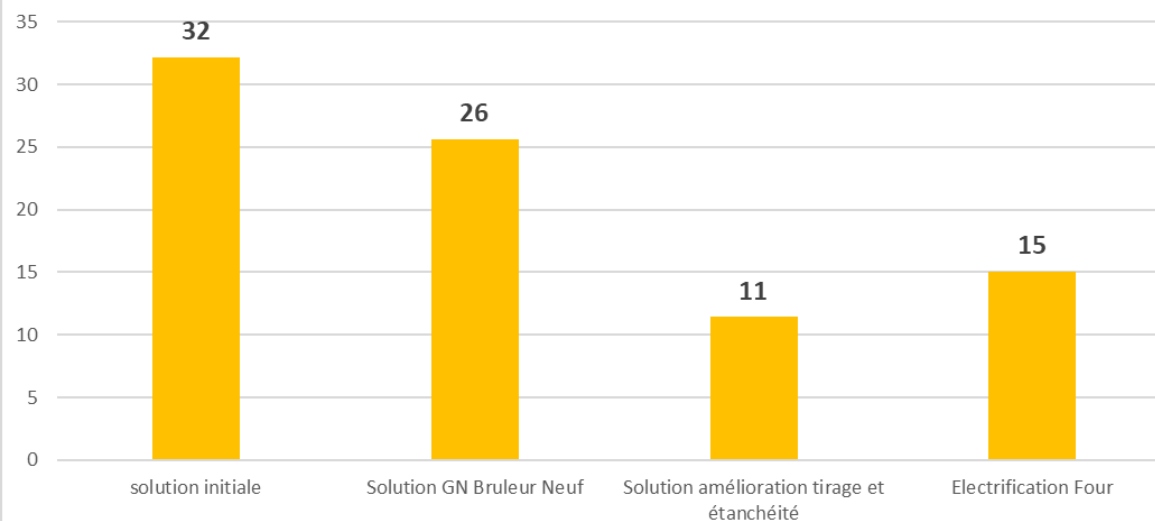
Emission de CO2 (t) pour toute la durée du scénario



Coût total (k€) sur la durée du scénario



Energie en GWh sur la durée du scénario



Synthèse (suite)

- 1 situation de référence particulière mais représentative d'une fraction non négligeable des équipements:
 - Four ancien de forte puissance présentant des optimisations lourdes
 - Pas de supports pour les charges
 - Montée en température atypique
 - Four du même type assez souvent rencontrés dans l'industrie métallurgique
- Les technologies qui se démarquent
 - Amélioration Tirage/Etanchéité ->
les + : performances énergétiques, peu d'émission CO2, couts d'investissement réduits
Attention : Nécessité de surveiller les paramètres optimisés
 - Résistance électriques ->
les + : meilleure émission de CO2, efficacité énergétique, maintenance facilitée
Pénalisée par le cout d'investissement et le cout de l'énergie dans le scénario.
- Perspectives
 - Travail sur d'autres scénarios : introduction de gaz vert, préchauffage pièces (Energie fatale), meilleure prise en compte de l'énergie radiante dans le bilan four.

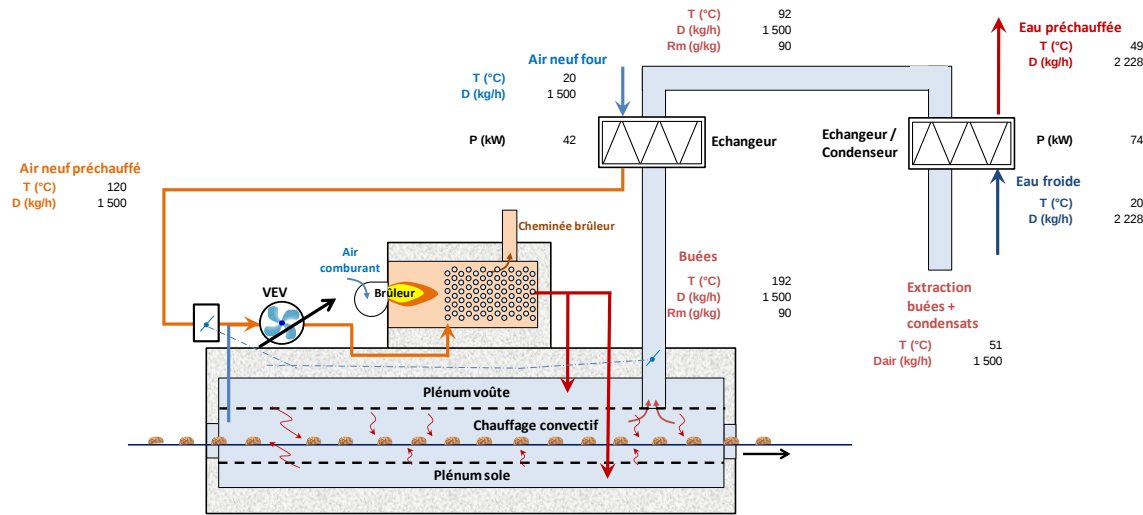
Four batch HT (traitement thermique)



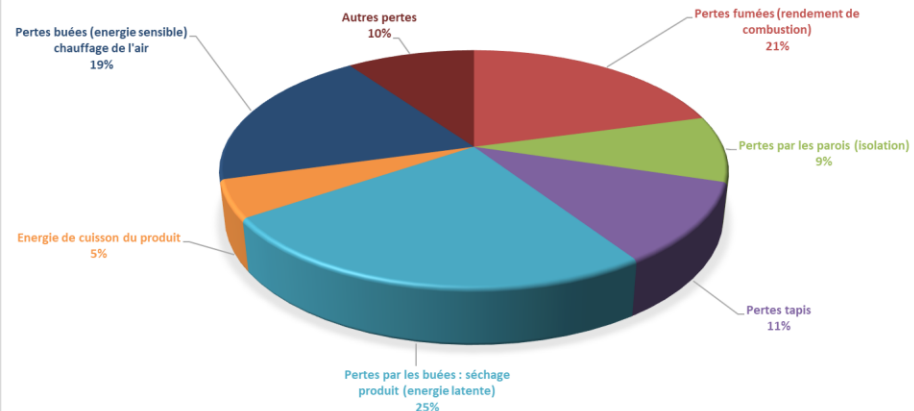
Technologie	Intérêts	Freins
Chauffage résistif	- Chauffage résistif : avantagee sous l'angle performance énergétique - Aspects sécurité ressentis (pour certains industriels)	- Chauffage résistif : pénalisée par le coût d'investissement initial + coût d'exploitation pour de fortes puissances - Maintenance des résistances électriques à haute température : durée de vie plus faible & surcoût revamping - Surcoûts transformateur électrique compte tenu des puissances en jeu et durée annuelle de fonctionnement

Étude de cas : Fours Tunnel BT (cuisson alimentaire)

- Four tunnel de cuisson agroalimentaire : biscuiterie.
- Puissance thermique totale : 650 kW nominal , 380 kW en moyenne
- Tapis ajouré compatible alimentaire
- Température de cuisson 200°C
- Fonctionnement en 2 x 8 heures 7j/7
- Traite environ 500kg de produit par heure
- Temps de passage produit : entre 8 et 9 min



BILAN THERMIQUE DU FOUR TUNNEL BASSE TEMPÉRATURE



Scénario de travail -> Énergies / Émissions CO2

Technologie	Energie	η appareil	Coût total de l'énergie sur la durée du scénario	Cout Total CO2 sur la durée du scénario
		% (pcs)	€	€
Solution initiale	GN	71%	2 423 624	353 157
	Elec	100%	259 308	5 279
Optimisation des paramètres process	GN	71%	2 067 741	301 299
	Elec	100%	259 308	5 279
Solution optimisée et préchauffage via récupérateur sur buées	GN	71%	1 615 845	235 452
	Elec	100%	259 308	5 279
Electrification Four	Elec	100%	3 720 908	75 747

η appareil : rendement thermique de la technologie de chauffage

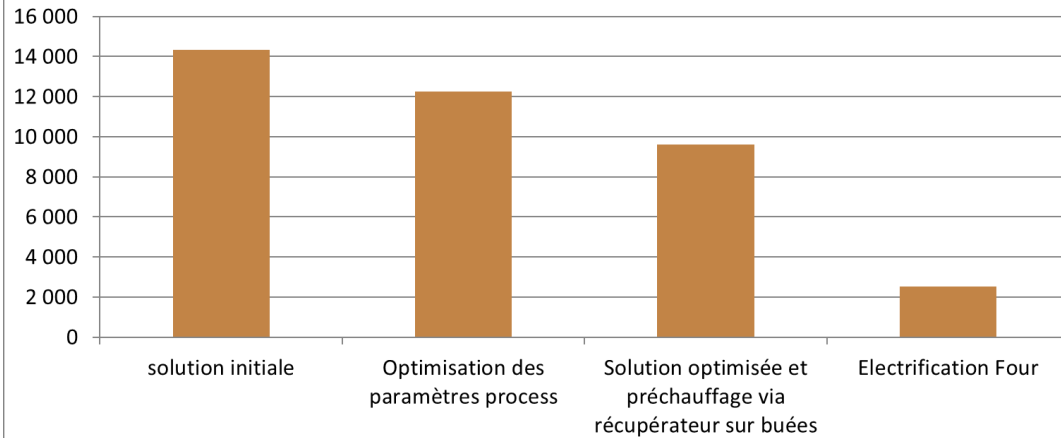
Coût énergie		Emissions	Rapport PCS/PCI	Taux de gaz vert
Energie	€/MWh	kg CO2/MWh		%
Gaz naturel	35	204	1,11	0
Electricité	70	57		
Coût de la tonne de CO2 (€/T)		25		

Données 2020

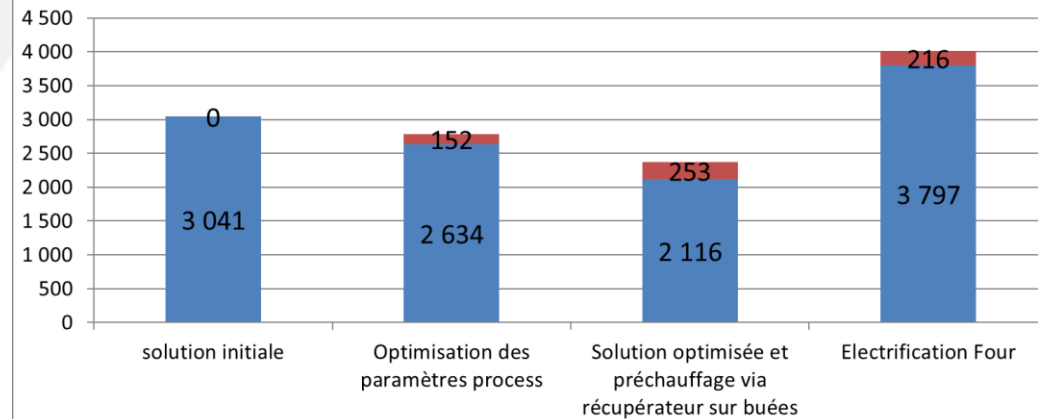
Four tunnel BT (application Agro-alimentaire)



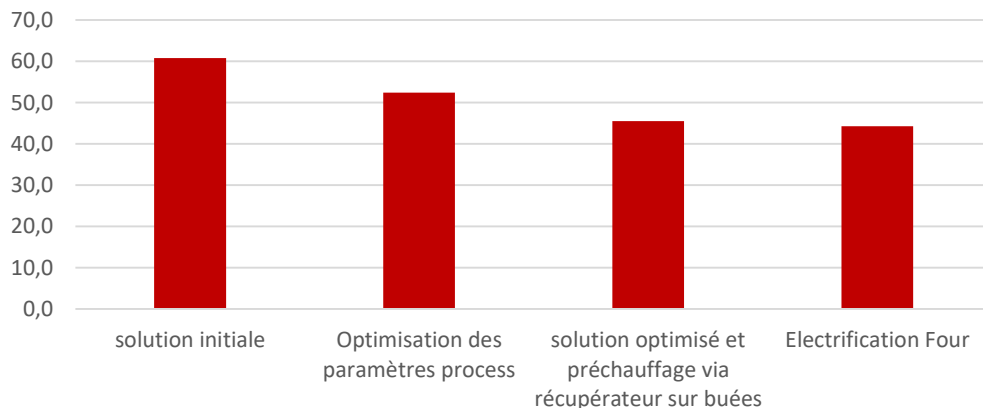
Emission de CO2 (t) pour toute la durée du scénario



Coût total (k€) sur la durée du scénario

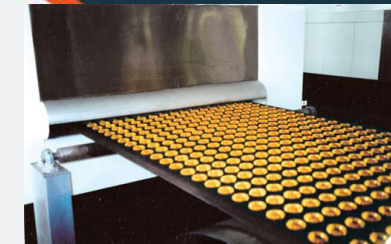


Energie (GWh) sur le scénario



- 2 solutions d'améliorations du four existant testées en gardant la chauffe gaz naturel
- Diminution moins notable de la puissance électrique vs puissance gaz par rapport au four HT : consommations 2eme solution gaz et électrique comparables
- Surcoût transformateur et annexes à l'installation représente une part importante de l'investissement.

Four tunnel BT (Application Agro-Alimentaire)



Technologie	Intérêts	Freins
100% chauffage résistif	- Baisse de l'énergie consommée grâce à une baisse de la puissance de chauffe - Régulation plus simple à gérer - Homogénéité de chauffe plus facile à obtenir	- Coût d'investissement initial + coût d'exploitation - Coût de maintenance supérieur au gaz : remplacement plus fréquent des résistances
Brûleurs gaz optimisation réglages process	- Investissements limités - Gain CO2 et Energie	- Paramètres d'optimisation à adapter sur chaque équipement et en fonction du produit - Baisse modérée de la consommation
Brûleurs gaz : optimisation réglages process+ préchauffage via récupération sur buées	Gains énergétiques et CO2 importants par rapport à la situation initiale Récupération d'énergie sur les buées	- Coût d'investissement initial - Préchauffage possible sur certains produits uniquement - Formation des conducteurs de four à adapter

ELECTRIFICATION DES FOURS INDUSTRIELS

A wide know-how

Developed around two core activities

Non ferrous alloys

EFR is fully experienced and supply the aerospace industry with heating and heat-treating equipment's upstream and downstream of forge and press units as well as for the aluminium plate and sheets producers.



Steel and titanium alloys

We are familiar with operation's related to titanium, nickel, cobalt, iron-base superalloy, aluminum, and steel for commercial and aerospace applications.



Contexte

La réduction des émissions de CO₂, sur le site d'utilisation, des fours revient à :

- - Améliorer le rendement global (combustion, isolation, cycle de production,..) des installations utilisant le Gaz Naturel comme combustible pour réduire la consommation de gaz naturel sans toute fois supprimer complètement les émissions de CO₂
- - Utiliser un autre combustible d'origine non fossile (sans carbone) donc sans génération de CO₂ lors de la combustion (si produit à partir d'électricité cela pourrait rentrer indirectement ou directement dans « l'électrification » des fours)
- - Utiliser un autre mode de chauffage que la combustion (chauffage électrique par rayonnement résistif), chauffage par induction,



Chauffage électrique (résistif)

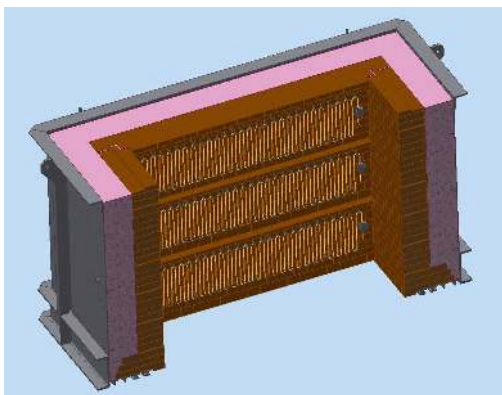
- Celui-ci est déjà couramment utilisé dans les applications basses températures ($< 600-900^{\circ}\text{C}$), souvent couplé avec un système de convection pour améliorer échanges thermiques avec la charge et homogénéité de températures
- Moins fréquemment utilisé dans la gamme des $900^{\circ}\text{C} - 1\,200^{\circ}\text{C}$, même si il existe des solutions. On peut être aussi limité dans la puissance de chauffe que le procédé permet d'installer dans certaines applications (limitations que l'on ne trouve pas avec la combustion de gaz)
- Rarement adapté quand la gamme de température de travail est à cheval entre basses et hautes températures pour des fours de précision



Chauffage électrique (résistif)



Exemple chauffage électrique 1 200°C



Eléments chauffants applications < 650°C



Eléments chauffants
applications < 900°C



Chauffage électrique (résistif)

- **AVANTAGES :**

- CAPEX souvent le plus faible (faible puissance)
- ZERO Emissions (naturellement)
- Précision de control
- Maintenance réduite et bonne disponibilité (pour application < 900°C)
- Atmosphère du four : air ambiant

- **INCONVENIENTS :**

- Cout énergie (par rapport au gaz naturel)
- Pas adapté à certaine applications (densité de puissance élevée, très haute température (> 1200°C), utilisation entre BT & HT, ..)
- Transformation des fours existants de Gaz Naturel à Electrique tout en maintenant les performances peut être techniquement difficile (voir impossible) et avec un cout économique important
- Requalification des procédés ?



Chauffage combustion Gaz Naturel

- **AVANTAGES :**

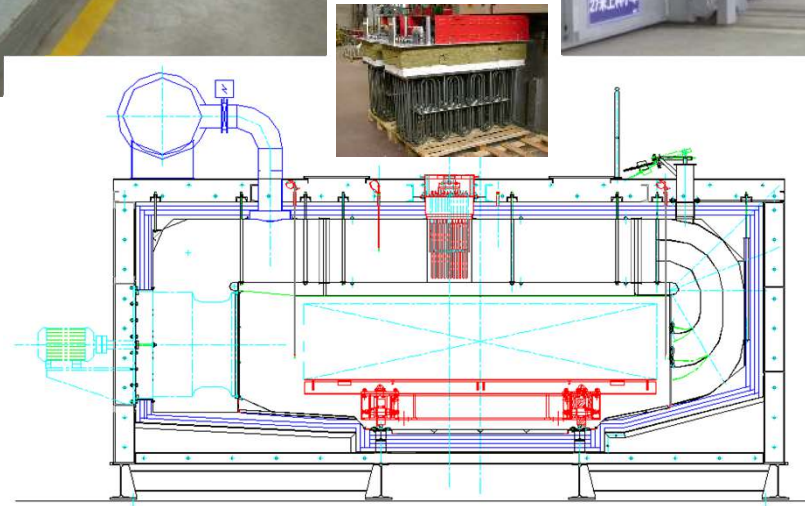
- Cout énergie (par rapport solution électrique résistif) – Motivation N°1
- Puissance importante facile à installer
- Pas d'alternative électrique pour certaines applications

- **INCONVENIENTS :**

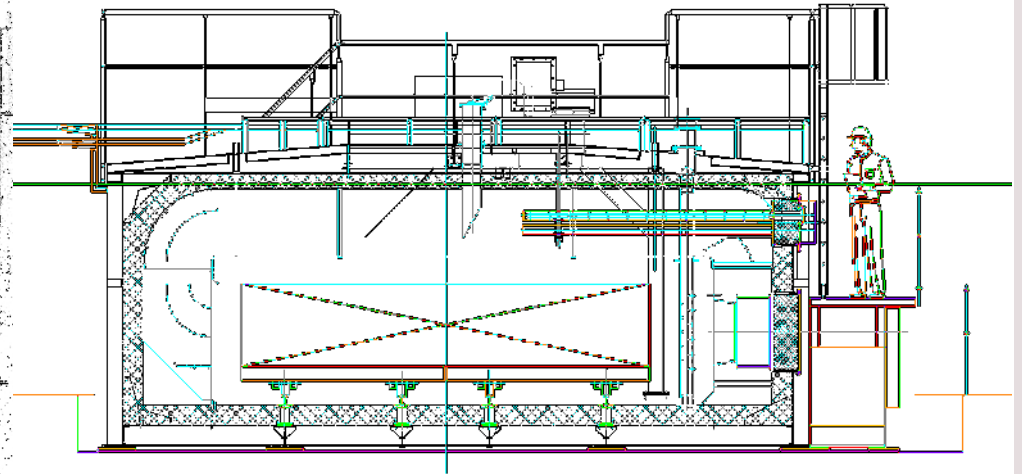
- Emissions (CO₂, Nox)
- CAPEX souvent plus important
- Atmosphère four chargée en H₂O (problème métallurgique ?)
- Personnel qualifié pour réglages et maintenance
- « Risque » gaz en particulier pour les applications BT



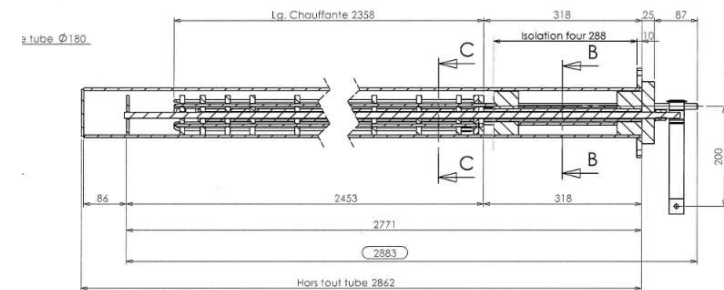
Four de revenu de tôles Aluminium



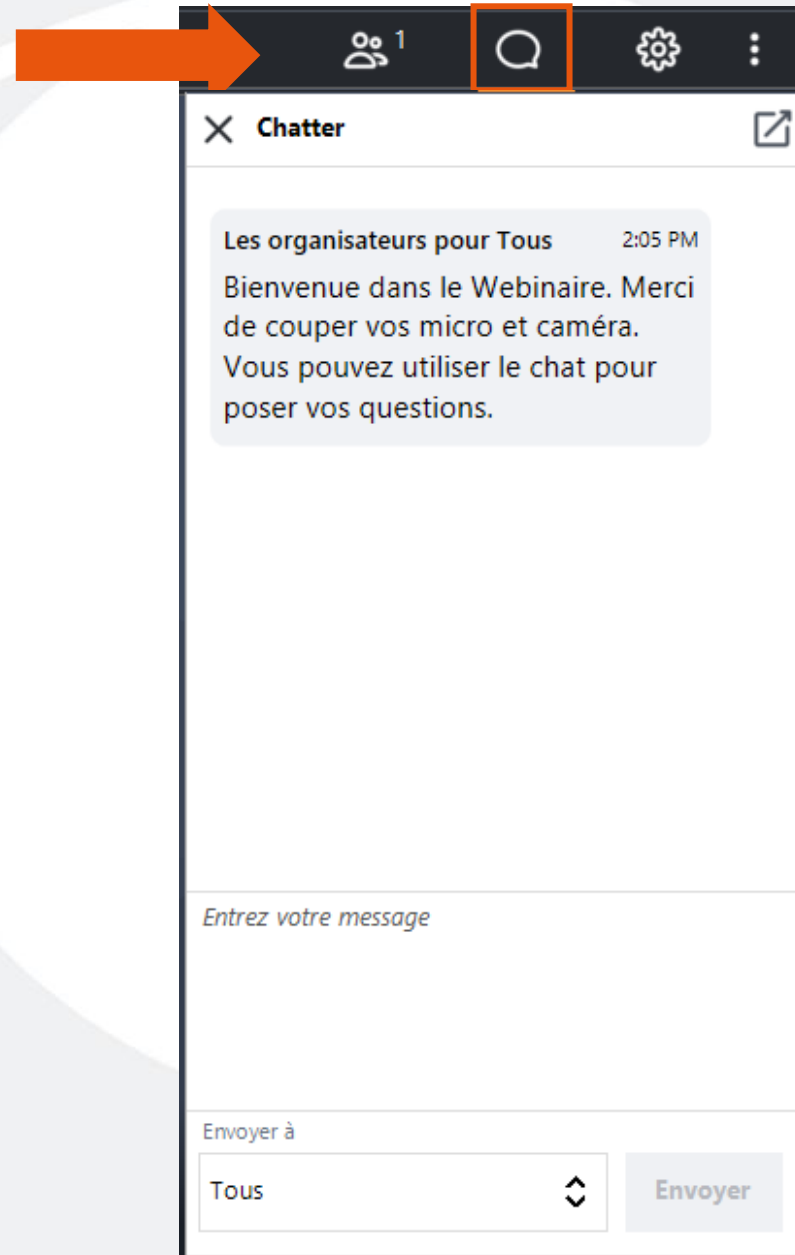
This architectural drawing is a detailed cross-section of a building, likely a historical or institutional structure. The main hall on the left features a large, semi-circular or apse-like structure at its rear end. The interior is divided into several levels and rooms. On the right side, there is a smaller, more complex structure that appears to be a staircase or a multi-level entrance area. The drawing includes numerous structural details, such as walls, floors, and roof lines, as well as furniture like tables and chairs. The overall style is that of a technical architectural drawing, with precise lines and shading used to represent the building's form and structure.



- Fiabilisation du process
- Amélioration de la classe du four



Poser vos questions !





Feuille de route 2020 « Potentiel d'électrification des procédés »

Conclusions et perspectives

Synthèse (1/2)

- **Intérêt d'une analyse au cas par cas pour chaque typologie de procédé**
⇒ accompagner les industriels pour identifier le « potentiel d'électrification »
 - Impact niveau de température, puissance, durée de fonctionnement, site existant ou nouvelle usine, etc.
- **2 niveaux d'électrification possibles sur ces 5 procédés**, sur la base des scénarios coûts et taxe CO2 2020 + électricité fortement décarbonée en France :
 - 100% électrique
 - Couplage équipements de chauffe alimentés en énergie fossile + énergie électrique
- **Le coût technologie peut être minime au regard des OPEX !**
 - Accompagner les industriels sur le financement initial

Synthèse (2/2)

- **Contexte énergétique**

- Coût de l'énergie électrique vs énergies fossiles
- Disponibilité de l'énergie électrique vs effacement ?

- **Leviers technologiques**

- Efficacité Énergétique transverse aux procédés
- Prédominance du gaz naturel pour les équipements à haute température et/ou de puissance élevée
- Intérêt de dimensionner à la baisse en électrique vs puissance de relance nécessaire ?

Perspectives

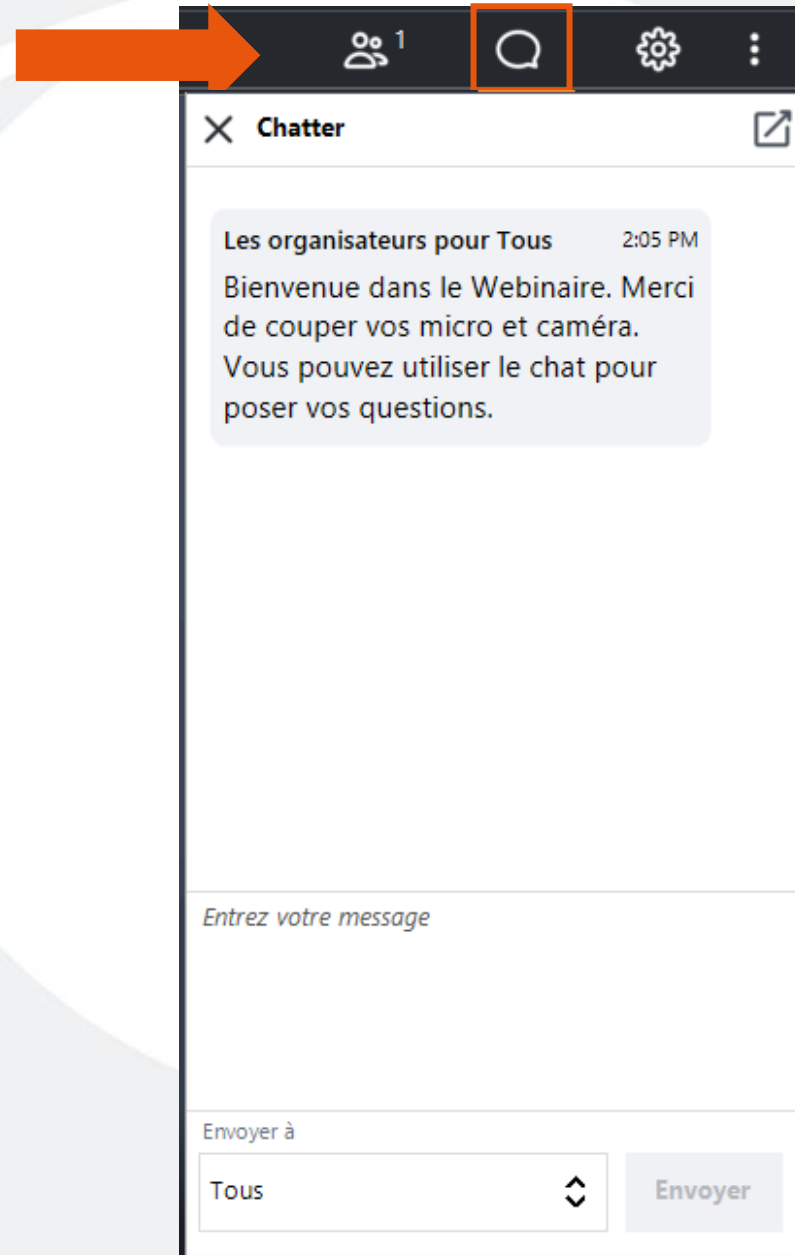
- Étude de marché PEP, prenant en compte ces résultats (étude ALLICE 2021)
- Intégration des gaz verts dans l'analyse (étude ALLICE 2021)
- Ouverture à des CEE standards « PEP » pour certains procédés thermiques ?
- Opportunité d'une étude sur le dimensionnement des équipements thermiques, dans le cadre des enjeux de décarbonation ?
- Initier des projets collaboratifs au sein d'ALLICE, dans le contexte actuel du Plan Relance

Annexe technique

Positionnement Technos. vs Procédés

	Chauffage résistif	CMV	Energies radiantes	PAC
Pasteurisateur Tunnel de traitement thermique	+++Maintenance facilitée à basse température et/ou petites puissances		+++ (transversalité aux bains de TS)	+++ (PAC HT)
Evapo-concentrateur Application lait	--- Surcoût transformateur	+++ (en agro-alimentaire)		
Sécheur tunnel Application B&T	--- Surcoût transformateur	--- Surcoût transformateur	--- essais de faisabilité en MO +++ Installations déployées dans l'industrie : HF sur fibres polymères (chimie) et MO sur mousse polyuréthane (pharma.)	+++ Couplage avec GN (PAC standard et HT) +++ Transversalité à d'autres secteurs industriels --- Surcoût transformateur
Four batch Application métallurgie Application Peinture	+++ Sécurisation vis à vis aspects gaz. Régulation et homogénéité de température facilitées. Puissance de chauffe réduite. --- Coût maintenance à HT + surcout transformateur et abonnement			
Four tunnel Application métallurgie Application Agroalimentaire (four biscuitier)	+++ Dimensionnement équipements. Régulation et homogénéité de températures --- Coût maintenance à HT (résistances) + Surcoût transformateur et abonnement.		+++ Prégélification pour la peinture poudre (IR) +++ Possibilité de préchauffe IR en agroalimentaire cuisson	

Poser vos questions !





Etude ALLICE 2021 : Le potentiel d'intégration des gaz décarbonés en industrie

Le potentiel d'intégration des gaz décarbonés en industrie

Contexte

La production de chaleur reste aujourd'hui, en France, encore fortement carbonée : 83 % de la consommation de chaleur industrielle reposait ainsi sur les énergies fossiles en 2014.

La combustion représente la principale voie de production de chaleur en industrie. A côté des énergies fossiles, il existe d'autres vecteurs permettant de produire de la chaleur décarbonée sur un site industriel (à des niveaux de température compatibles avec la plupart des usages).

Après avoir étudié le potentiel d'électrification des procédés en 2020, ALLICE propose de poursuivre en abordant l'intégration de gaz décarbonés dans l'optique de mettre en perspectives les différentes solutions identifiées permettant de décarboner les procédés de combustion en industrie.

Note : Dans cette étude, ne seront pas abordées les solutions d'efficacité énergétique ni de décarbonation post combustion (CCUS)

Objectif

- ALLICE propose donc d'évaluer les potentiels : technique, économique et de marché de différents gaz décarbonés : biométhane, méthane de synthèse, biogaz, gaz de synthèse et hydrogène, gaz de récupération de procédés (ex. gaz de haut fourneau), air chargé en COV.
- Cette étude doit apporter des éléments de réponse aux questions suivantes:
 - Quels gaz décarbonés permettent de décarboner la combustion en industrie? Quels sont leur maturité de production ou de récupération (le cas échéant), leur taux de pénétration et leur niveau de performance (énergétique et environnemental)?
 - Quels sont les principaux secteurs industriels dans lesquels se concentre les opportunités de déploiement ou de récupération?
 - Quels acteurs sont présents sur ces filières?
 - Quels sont les enjeux technico-économiques de l'intégration de ces nouveaux gaz?
 - Quels sont les « drivers » marché et réglementaire qui inciteront le développement et le déploiement de ces gaz décarbonés ?
 - Quel est le potentiel de décarbonation des différentes voies?

Le potentiel d'intégration des gaz décarbonés en industrie

Contexte

La production de chaleur reste aujourd'hui, en France, encore fortement carbonée : 83 % de la consommation de chaleur industrielle reposait ainsi sur les énergies fossiles en 2014.

La combustion représente la principale voie de production de chaleur en industrie. A côté des énergies fossiles, il existe d'autres vecteurs permettant de produire de la chaleur décarbonée sur un site industriel (à des niveaux de température compatibles avec la plupart des usages).

Après avoir étudié le potentiel d'électrification des procédés en 2020, ALLICE propose de poursuivre en abordant l'intégration de gaz décarbonés dans l'optique de mettre en perspectives les différentes solutions identifiées permettant de décarboner les procédés de combustion en industrie.

Note : Dans cette étude, ne seront pas abordées les solutions d'efficacité énergétique ni de décarbonation post combustion (CCUS)

Objectif

- ALLICE propose donc d'évaluer les potentiels : technique, économique et de marché de différents gaz décarbonés : biométhane, méthane de synthèse, biogaz, gaz de synthèse et hydrogène, gaz de récupération de procédés (ex. gaz de haut fourneau), air chargé en COV.
- Cette étude doit apporter des éléments de réponse aux questions suivantes:
 - Quels gaz décarbonés permettent de décarboner la combustion en industrie? Quels sont leur maturité de production ou de récupération (le cas échéant), leur taux de pénétration et leur niveau de performance (énergétique et environnemental)?
 - Quels sont les principaux secteurs industriels dans lesquels se concentre les opportunités de déploiement ou de récupération?
 - Quels acteurs sont présents sur ces filières?
 - Quels sont les enjeux technico-économiques de l'intégration de ces nouveaux gaz?
 - Quels sont les « drivers » marché et réglementaire qui inciteront le développement et le déploiement de ces gaz décarbonés ?
 - Quel est le potentiel de décarbonation des différentes voies?

Orientations de l'étude

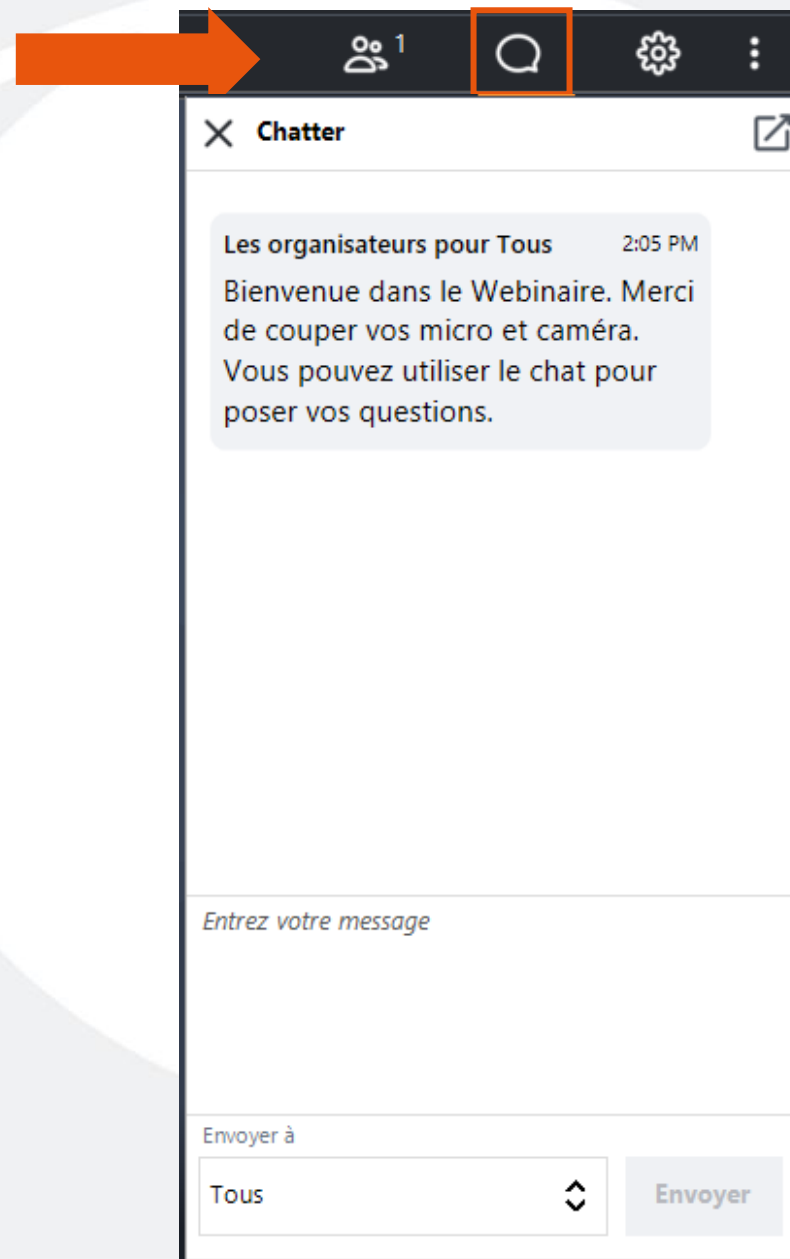
- **Approche générale**

0. Capitalisation de l'existant et cadrage du scope
1. État des lieux des solutions gaz décarbonés pour les procédés de combustion sélectionnés
2. Analyse macro des drivers d'intégration des gaz décarbonés pour les procédés sélectionnés
3. Revue technico-économique des solutions et estimation du potentiel

- **Précisions**

- Sélection de technologies matures/développées pour une analyse technique poussée sur 4 cas d'étude (en phase 3)
- Revue plus haut-niveau de l'émergence d'autres technologies moins matures et des enjeux macro dans différentes filières sur un périmètre Europe (en phase 2)
- Sélection des segments industriels / niveaux de température / procédés prioritaires (e.g. matériaux, métallurgie / 90-200°C / chaudières)
- Analyse technico-économique « semi-qualitative » pour les 3 secteurs sélectionnés sur la base des informations disponibles avec illustration via des cas pratiques + analyse des opportunités de déploiement ainsi que les besoins de développement et potentiels freins / verrous technico-économiques à surmonter (en phase 3)

Poser vos questions !





Étude 2021:

Récupération de chaleur à très haute température dans l'industrie

Contexte et objectifs

- **Contexte**

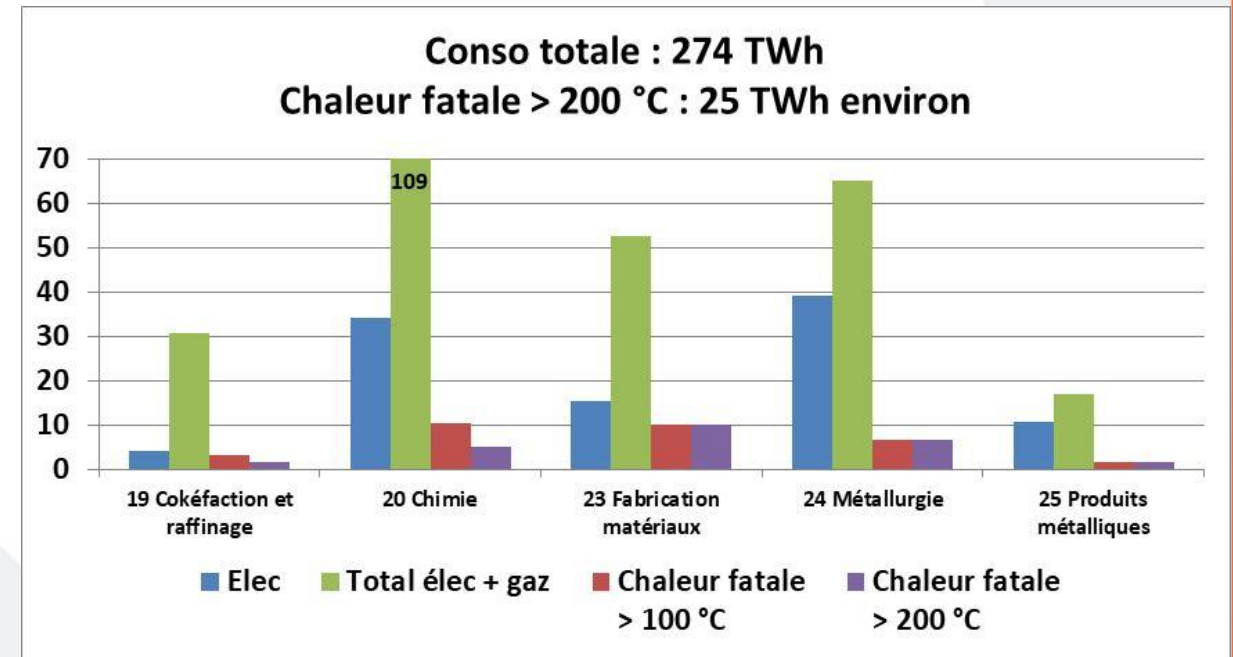
- **Potentiel de récupération de chaleur THT**
- **Une valorisation encore insuffisante**
- **Des freins à leur développement**

- **Objectif**

- **Obtenir une vision technique et économique du potentiel de développement de la récupération de chaleur fatale THT**
 - Identification des technologies de récupération
 - Identification des usages industriels :
 - Quels couplages de procédés thermiques et des rejets de chaleur fatale, et quelle valorisation sur le site industriel

Périmètre

- **Secteurs industriels pertinents:**
 - Chimie, pétrochimie, matériaux, métallurgie
 - Deux secteurs à prioriser
 - Effluents > 200 °C
- **Technologies visées :**
 - Échangeurs et auxiliaires
 - Pac THT, Cogé...
 - Techniques de conversion élec
 - Autres...
- **Effluents :**
 - Gazeux, liquides



Phase 1 : évaluation techno de récup et procédés

Évaluation des technologies de récupération

- **Évaluation**

- Gammes de température, de puissances
- Types et qualités d'effluents, limites d'utilisation,
- Caractéristiques : volumes raccordement, équipements auxiliaires,
- Ordres de grandeur de coûts, maturité technico-économique
- Prise en compte de l'encrassement, filtration HT selon besoins

- **Sources**

- REX et études énergétiques CETIAT et ALLICE,
- Colloques CETIAT FIRE, colloque ALLICE 2021 vers l'industrie bas carbone,
- Fabricants et adhérents : estimé 5 entretiens (Hevatech, Energie circulaire, filiale d'Enertime, etc.)

- **Livrables**

- Évaluation techno de récup et procédés
- Fiches technologiques (7 pressenties)

Phase 1 : évaluation techno de récup et procédés

Évaluation des usages industriels

- **Procédés thermiques**
 - Sources : fours rotatifs, tunnel, batch, traitement de liquides, autres...
 - Puits : fours, séchoirs, traitement de liquides, autres...
 - Températures, puissances,
 - Types de traitements, produits concernées : liquides, solide, granulats, etc...
- **Sources**
 - REX et études énergétiques CETIAT,
 - Adhérents ALLICE : Poujoulat, TOTAL, Energéticiens, autres...
 - Expertise CETIAT en procédés industriels
- **Livrables**
 - Recensement des principaux procédés par secteurs étudiés

Phase 2 : évaluation déploiement récupération THT

Poser les enjeux énergétiques et technico-économique

- **Gisement**
 - Base données chaleur fatale ADEME,
 - Expertise CETIAT,
 - Autres ressources, sollicitation adhérents énergéticiens
- **Capacité de déploiement des technologies**
 - Usage vers process/utilité,
 - maturité, niveaux TRL
 - Avantages et contraintes, maintenance,
 - Aides financières possibles
- **Recensement de REX terrain (envisagé 5 à 7 REX)**

Livrables

- **Analyses sectorielles**
- **Cartographie par grandes familles de procédés**
 - Couplage technologie de récupération / procédés sources / puits (procédés ou utilités)

Phase 3 : Synthèse de l'étude

Rapport comprenant

- **Technologies de récupération THT**
- **Procédés par secteurs étudiés**
- **Couplages procédés/technos de récup**
 - Analyses des potentiels de développement
 - Points forts, freins techniques
- **Enjeux énergétiques**
- **Préconisations de développement**
 - Projets collaboratifs envisageables, financements, actions possibles auprès des acteurs : industriels, fabricants procédés, projet pilote...

Livrables

- **Rapport word, fiches techniques, synthèses entretiens et REX**
- **Restitution adhérents Aliche (Club PRIME) -> Pptx**

Organisation de l'étude

- Technologie de récupération
- Procédés concernés
- Identification des sources et puits de chaleur

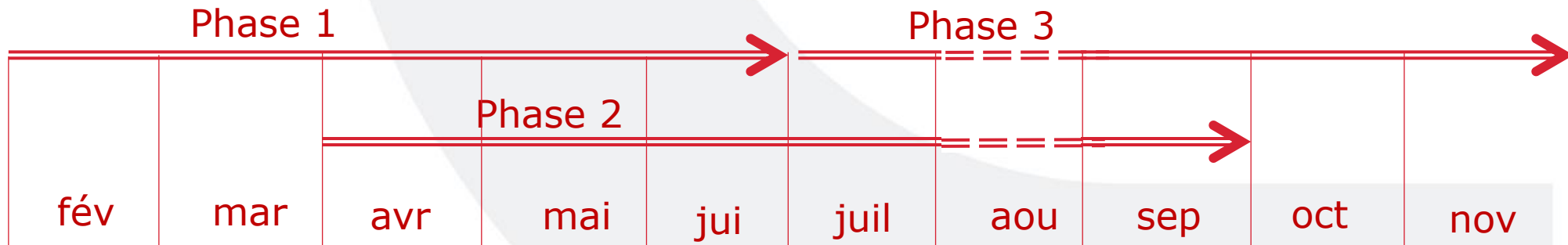
Phase 1 : identification

Phase 2 : évaluation

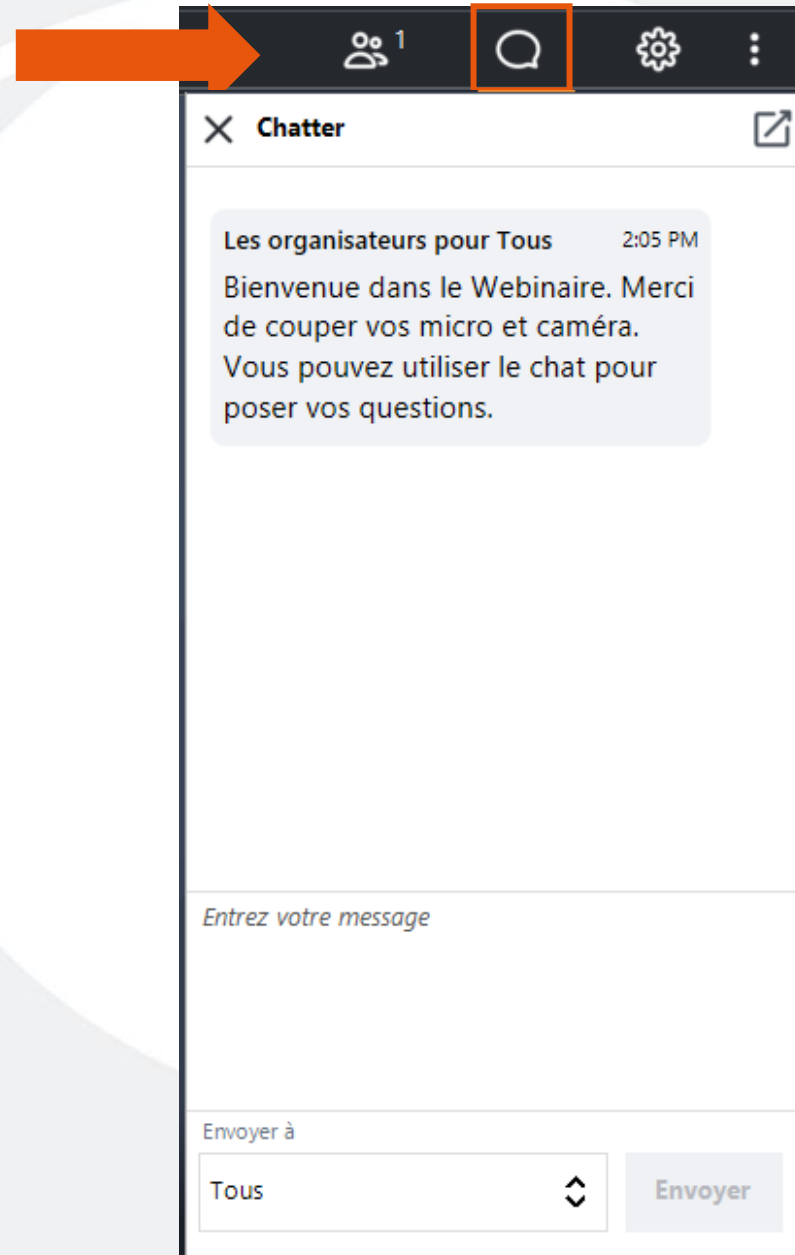
- Gisement (source Ademe)
- Gisement accessible
- Évaluation du déploiement des technologies de récupération
 - Avantages / Frein / Coût
 - Gains à attendre

- Fiches techniques de solution en récupération
- Rapport d'étude
- Opportunité de projet (fonction des résultats d'étude)

Phase 3 : livrables



Poser vos questions !



Merci à tous !



ALLiance Industrielle
pour la Compétitivité
et l'Efficacité Énergétique

25, avenue des Arts
69100 Villeurbanne

Tél. +33 (0)4 72 44 49 11

contact@alliance-alice.com
03/02/2021

www.alliance-alice.fr