

# LES PRINCIPAUX OBJECTIFS DE LA LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



**-40%** d'émissions  
de gaz à effet de serre  
en 2030 par rapport  
à 1990



**-30%** de consommation  
d'énergies fossiles  
en 2030 par rapport  
à 2012



Porter la part des énergies  
renouvelables à **32%** de  
la consommation finale  
d'énergie en 2030 et à **40%**  
de la production d'électricité



Réduire la consommation  
énergétique finale  
de **50% en 2050**  
par rapport à 2012



**-50%** de déchets  
mis en décharge  
à l'horizon 2025



Diversifier la production  
d'électricité et baisser  
à **50%** la part du nucléaire  
à l'horizon 2025

Oui mais comment ?

# STOCKER & VALORISER L'ENERGIE THERMIQUE



Séminaire « Stockage de l'énergie »

Paris - 29 Novembre 2016

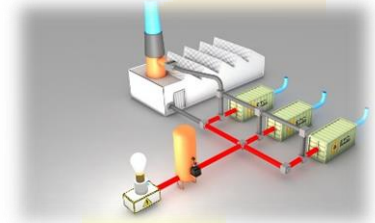


# PLAN

1. Contexte enjeux et verrous



2. Innovation technologique industrielle



3. Stratégie marketing



4. Modèle Economique



5. Business Cases





# CONTEXTE, ENJEUX ET VERROUS

Pour l'efficacité énergétique industrielle et les énergies renouvelables

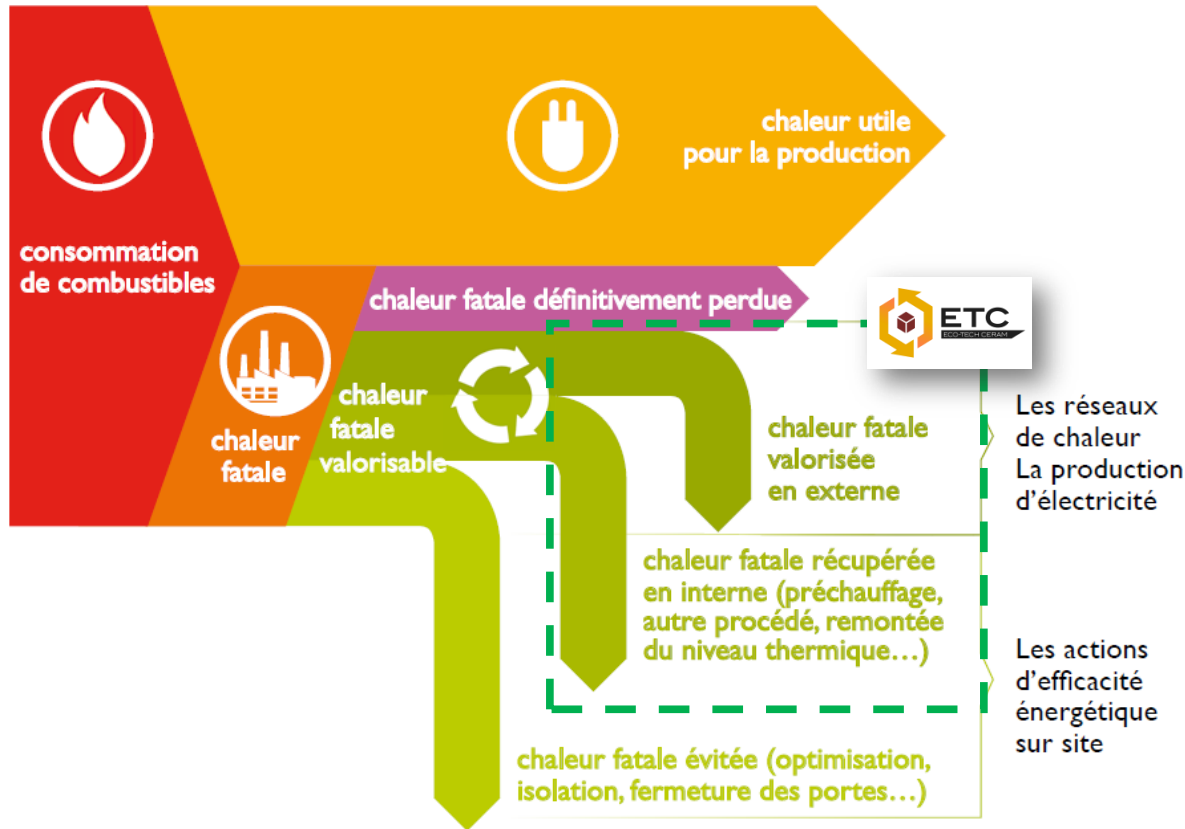


# LA CHALEUR « FATALE » ?

ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



La chaleur fatale désigne la partie de la chaleur qui est inévitablement rejetée lors du fonctionnement d'un procédé de production ou de transformation.

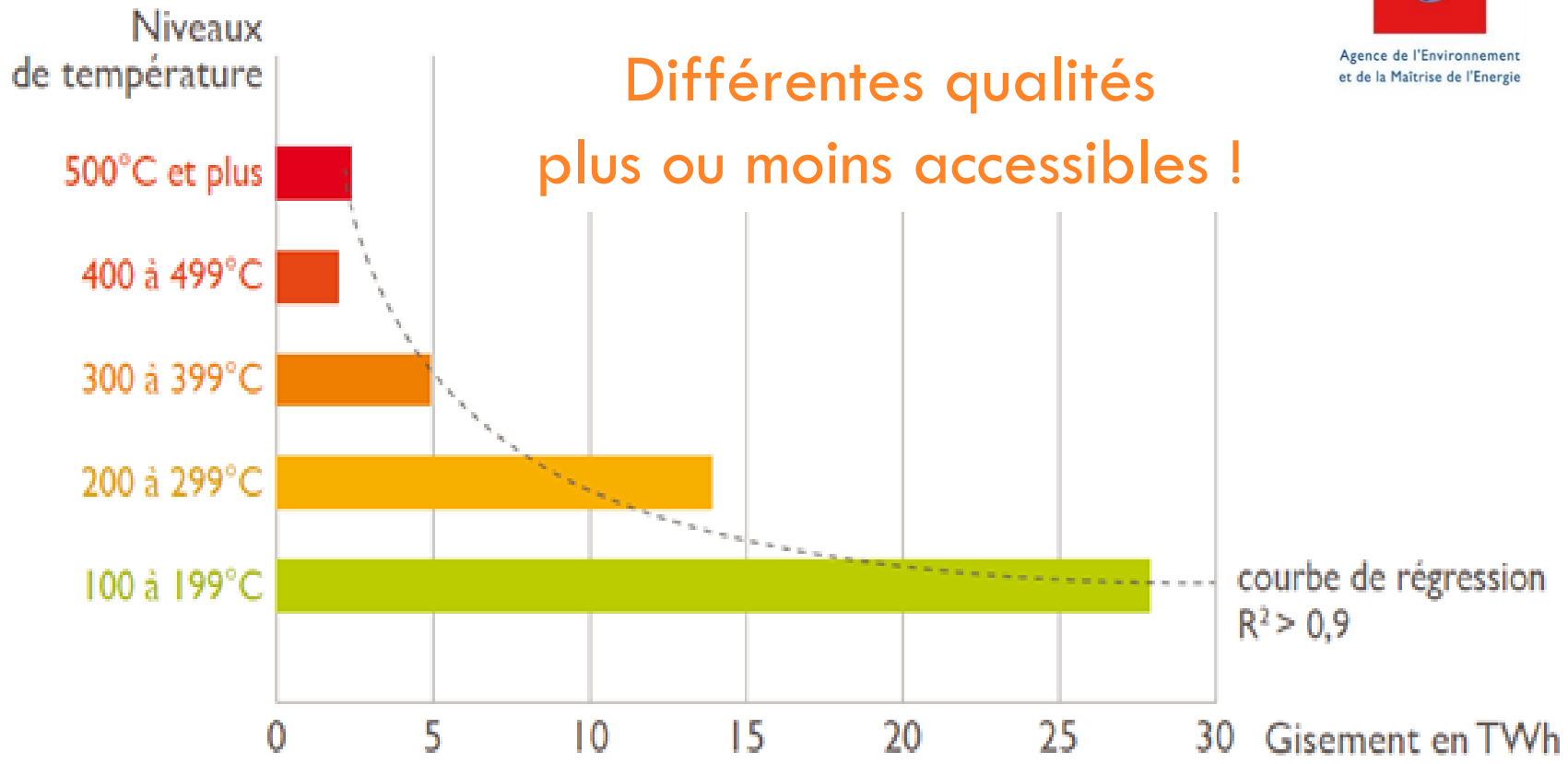
# LA CHALEUR « FATALE », L'OR VERT DU XXI SIÈCLE !

ADEME

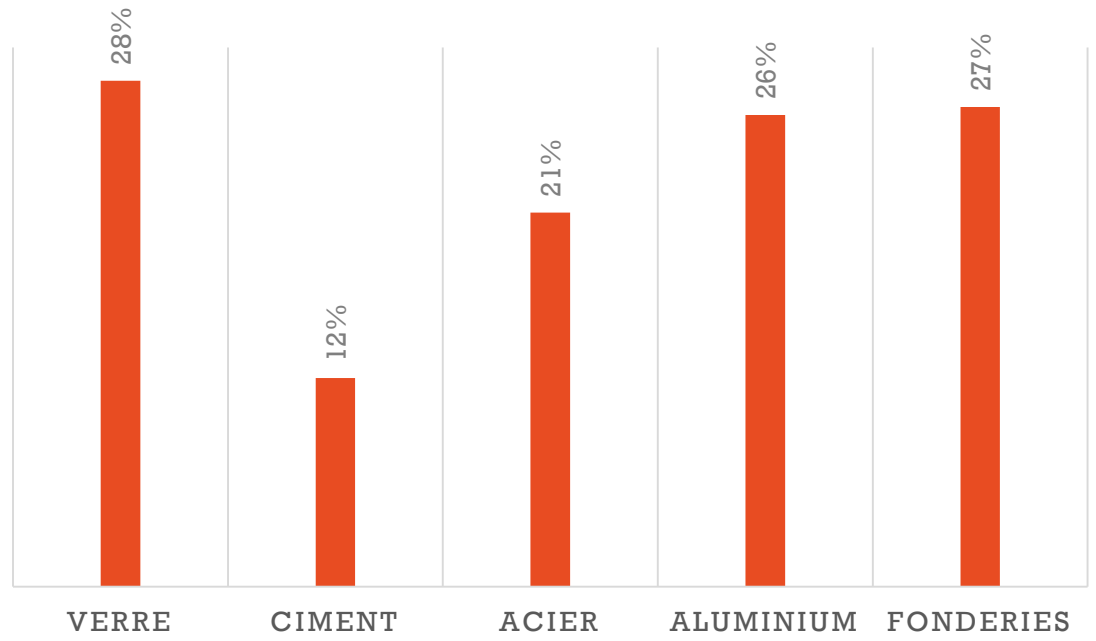


Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie




## Différentes qualités plus ou moins accessibles !



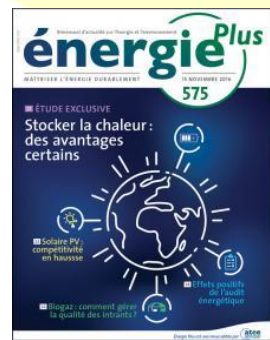
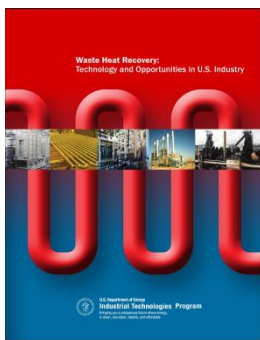
# CONSTAT : >20% DE CHALEUR PERDUE PAR L'INDUSTRIE



(T > 150°C)

-  3500 TWh/year
-  2450 Mt CO<sub>2</sub>/year
-  200 Billion €/year

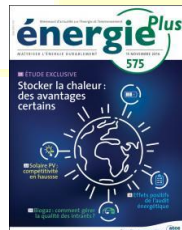
## Comment valoriser ce gisement de manière rentable ?



# Potentiels du stockage de chaleur et du power-to-heat en France

Jacques De Bucy, ENEA Consulting

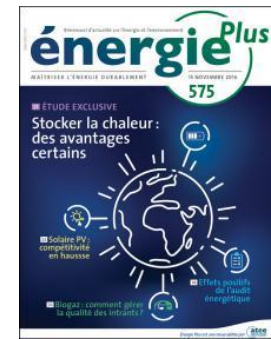
Sylvain Mouret, ARTELYS





## Contexte et objectifs de l'étude

- Contexte:
  - La chaleur représente la moitié des consommations d'énergie en France
    - La PPE vise à réduire la consommation d'énergie et accroître la part d'EnR&R
  - Stockage thermique et P2H sont des leviers potentiels pour décarboniser le mix thermique français
- Objectifs:
  - Quantifier la valeur de ces filières pour des applications jugées pertinentes
    - Valorisation de surplus de chaleur et d'électricité
    - Arbitrage électrique sur le réseau
    - Economies d'investissements
  - Déterminer les modalités et potentiels de déploiement de ces filières



## L'étude se focalise sur 6 cas d'application

- Sélection des cas d'étude par le comité de pilotage composé de l'ATEE, de l'ADEME et des 10 industriels cofinanceurs
- Critères de sélection:
  - Cas susceptibles d'avoir un intérêt économique
    - Cas peu ou pas analysés à ce jour

ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



CPCU

Notre réseau renouvelle vos énergies



dalkia

GRUPE EDF



EIFFAGE

ÉNERGIE



ENEDIS  
L'ÉLECTRICITÉ EN RESEAU

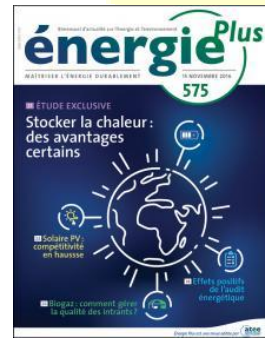
ENGIE

ifp  
Énergies  
nouvelles



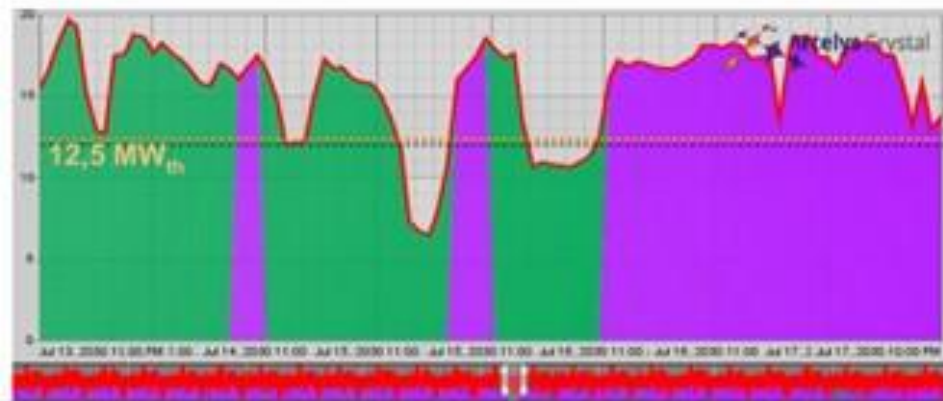
# Stockage thermique en milieu industriel

- Consommation de chaleur au sein d'un complexe industriel (ex: éco parc)
  - Procédés industriels faisant usage de chaleur à haute température (vapeur d'eau)
  - Un profil de demande non-thermosensible avec faibles variations saisonnières
- Deux cas d'étude sélectionnés
  - Cogénération au gaz (couplage chaleur / électricité)
  - Récupération de chaleur fatale



# Stockage et cogénération au gaz

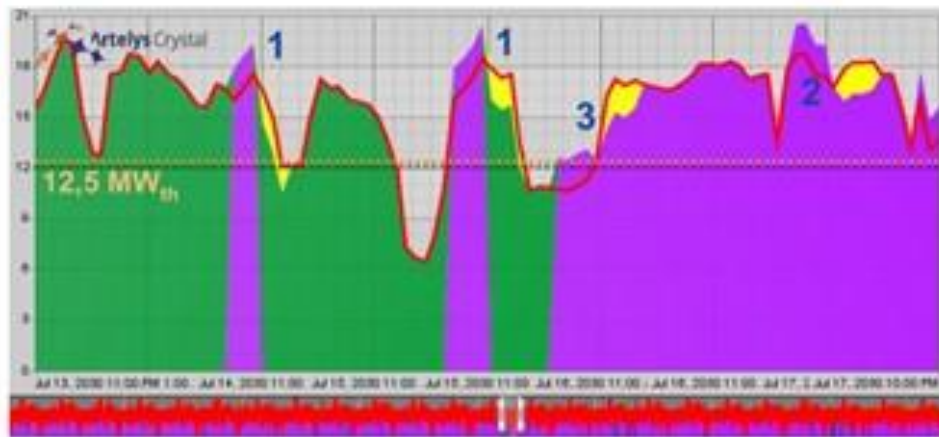
- Le stockage est un outil de flexibilisation permettant d'optimiser le fonctionnement des cogénérations au gaz, en arbitrage avec une chaudière gaz



— Consommation ■ Chaudière gaz ■ Cogénération

Sans stockage

Avec stockage

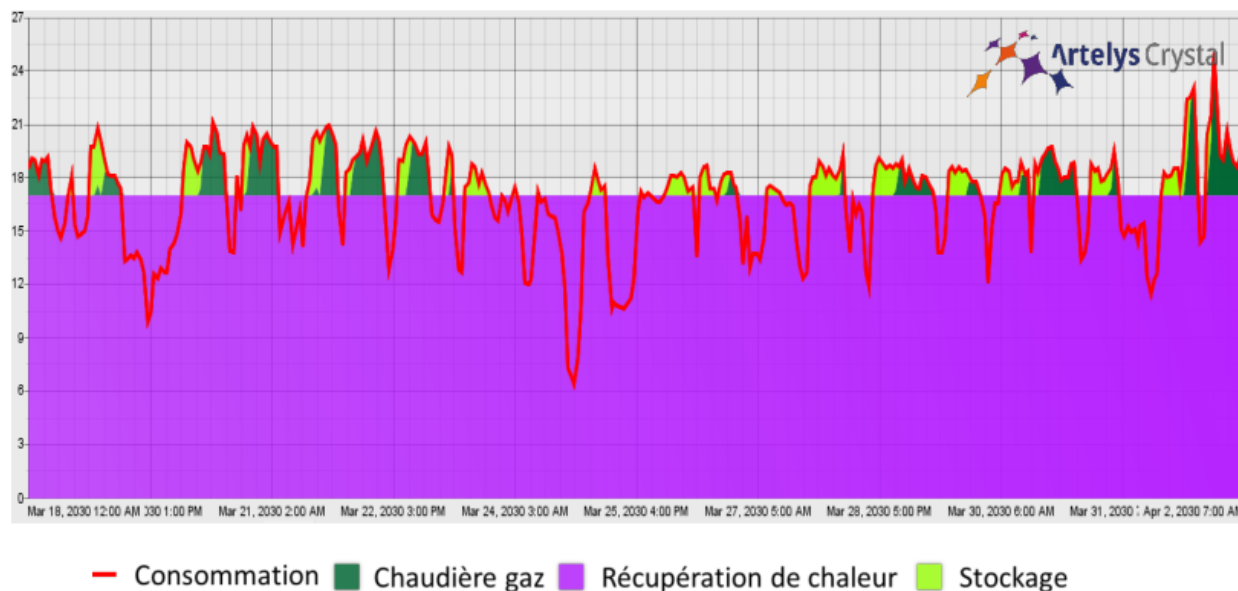


— Consommation ■ Chaudière gaz ■ Cogénération ■ Stockage



# Stockage et récupération de chaleur fatale

- 1<sup>er</sup> cas de figure: le stockage est utilisé pour maximiser la valorisation de chaleur fatale sur une chaudière de récupération préexistante



- Le stockage permet de réduire les consommations de gaz du site industriel (TRI de 5 à 8 ans dans les conditions de l'étude)



## Stockage et cogénération au gaz



La valeur du stockage en termes d'arbitrage économique est limitée

- CAPEX élevés des technologies de stockage HT

- D'un point de vue opérationnel, le stockage présente néanmoins de multiples avantages observé durant l'étude:



- Augmentation des ventes d'électricité
- Augmentation de la durée de fonctionnement de la cogénération à un régime proche de sa puissance nominale
- Réduction du nombre de démarrages liés à des baisses de charge



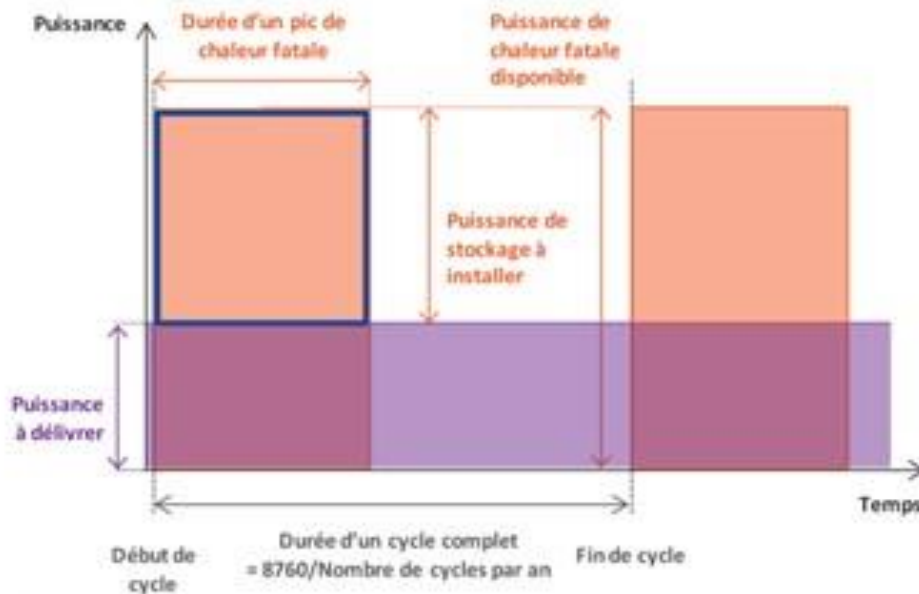
Le contexte réglementaire peut également influencer la valorisation du stockage

- Notamment via l'application d'un complément de rémunération maintenant les signaux de prix de marché de l'électricité



# Stockage et récupération de chaleur fatale

- 2<sup>ème</sup> cas de figure: le stockage est utilisé pour fournir un débit de chaleur stable à partir d'une source intermittente



- Puissance disponible
- Puissance à délivrer
- Energie disponible
- Energie à délivrer
- Energie à stocker

- La récupération de chaleur avec stockage est rentable à partir d'un cycle par jour et d'une marge d'achat-revente de 30 €/MWh<sub>th</sub>



# Stockage et récupération de chaleur fatale

- Le segment est porteur pour les technologies de stockage à haute température
- Le gisement de chaleur fatale industrielle en France est conséquent,
  - 7 TWh<sub>th</sub>/an >350°C; 51 TWh<sub>th</sub>/an <100°C
  - L'évaluation précise du potentiel du stockage requiert une étude au cas par cas
- Des mécanismes de soutien faciliteraient la mise en place de projets
  - Fonds de garantie pour palier les incertitudes liées au contexte industriel
  - Tarif de rachat ou premium et taxe carbone élevée (100 €/t<sub>CO2</sub>) pour garantir la compétitivité de la chaleur fatale face au gaz naturel







# Synthèse sur le stockage en milieu industriel

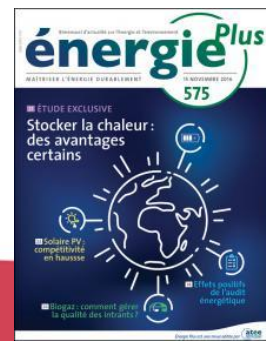
- Le stockage permet d'optimiser les performances des systèmes énergétiques industriels



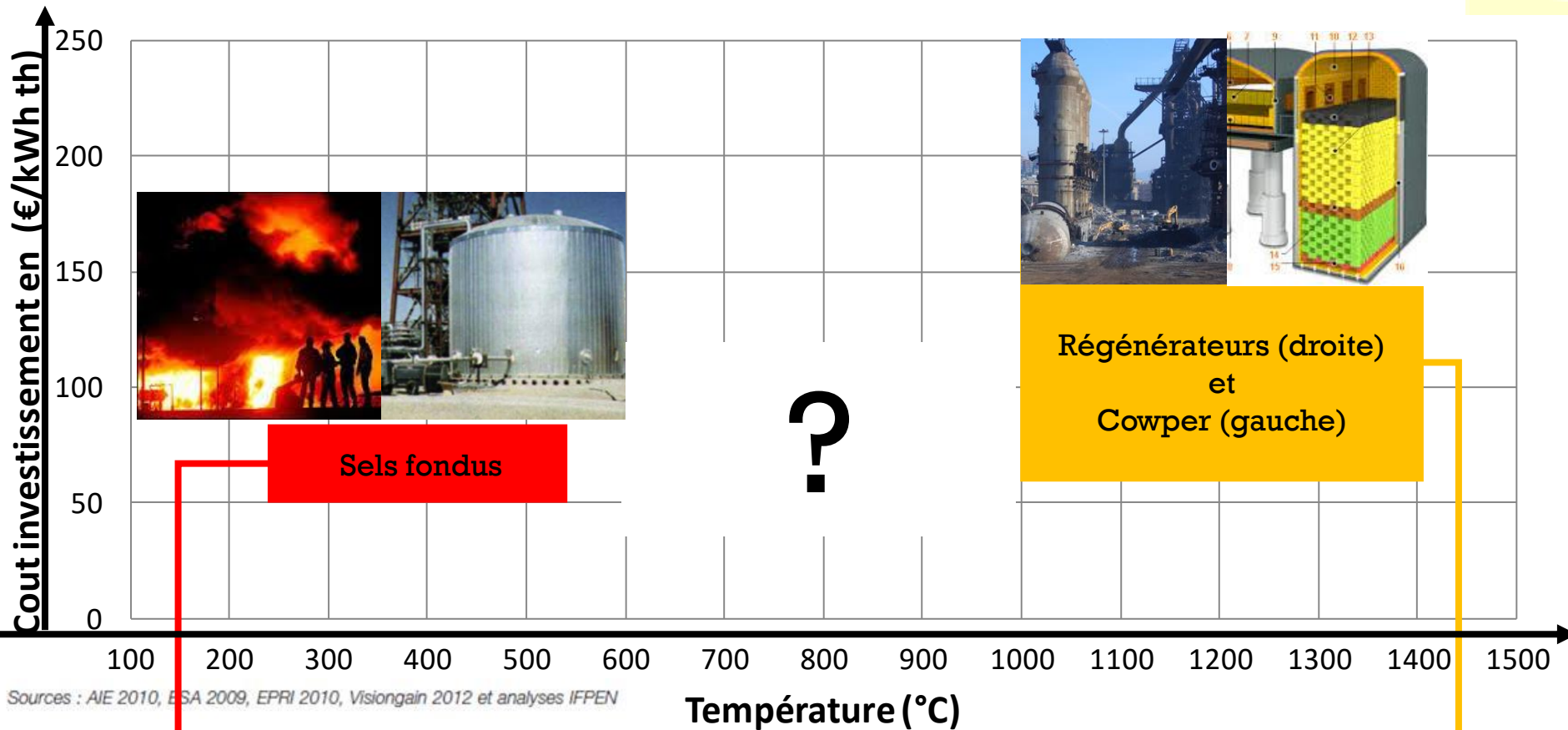
- En augmentant leur efficacité énergétique
- En facilitant leur pilotage et leur intégration aux réseaux

- Des réductions de coût et des mécanismes de soutien permettraient de sortir des niches identifiées

- La réduction des CAPEX énergie est le premier levier pour augmenter la compétitivité des technologies HT sur les applications étudiées
  - Complément de rémunération, tarif de rachat, taxe carbone élevée, financement à taux réduit ou fonds de garantie



# SOLUTIONS DE STOCKAGE CONVENTIONNELLES



**Réglementation SEVESO  
Surexploitation des sels de nitrate**

**Cout des matériaux et de  
l'installation élevés**

Industriels : équipementiers et intégrateurs

NEST

ABENGOA SOLAR

CMI














SIEMENS

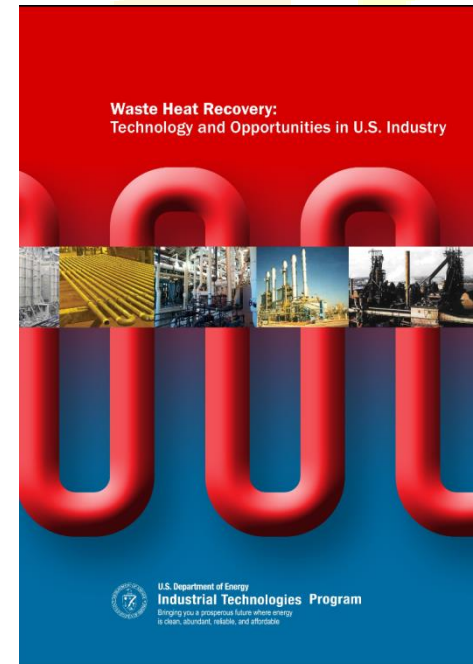
Hot works

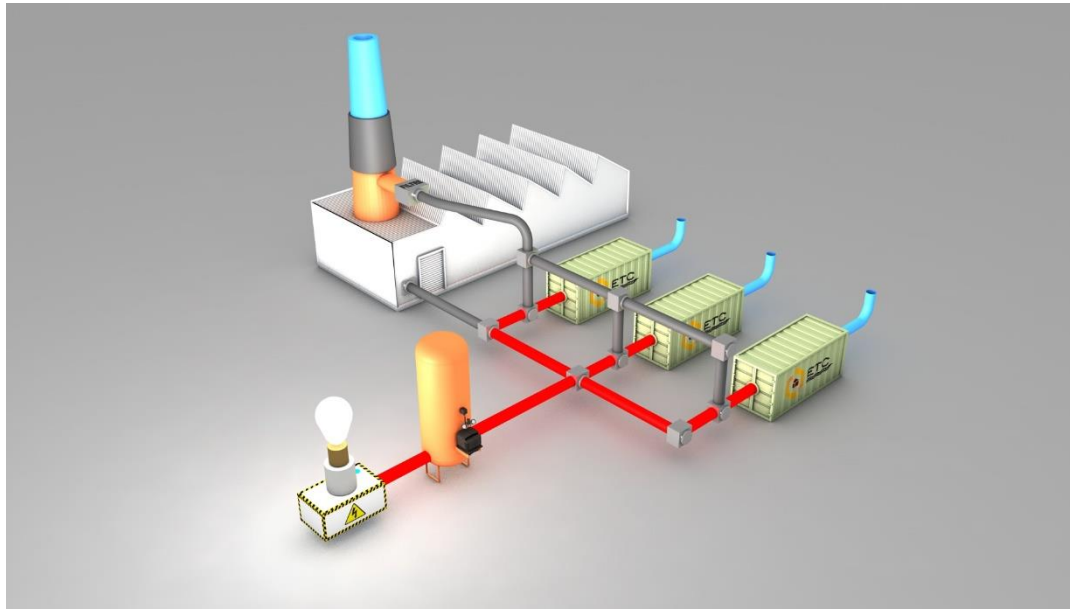
Danieli Corus



**Table 25 - Summary of RD&D Opportunities and Barriers Addressed -**

	Barriers Addressed									
	Long Payback Periods	Material Constraints and Costs	Maintenance Costs	Economies of Scale	Lack of End-use	Heat transfer rates	Environmental Concerns	Process Control and Product Quality	Process-specific Constraints	Inaccessibility
 Develop low-cost, novel materials for resistance to corrosive contaminants and to high temperatures		X	X							
 Economically scale down heat recovery equipment	X	X		X						
 Develop economic recovery systems that can be easily cleaned after exposure to gases with high chemical activity			X	X		X				
 Develop novel manufacturing processes that avoid introducing contaminants into off-gases in energy-intensive manufacturing processes		X	X				X	X	X	
 Develop low-cost dry gas cleaning systems		X	X			X	X	X		
 Develop and demonstrate low-temperature heat recovery technologies, including heat pumps and low-temperature electricity generation		X			X					
 Develop alternative end-uses for waste heat					X					
 Develop novel heat exchanger designs with increased heat transfer coefficients	X	X				X				
 Develop process-specific heat recovery technologies				X		X	X	X	X	X
 Reduce the technical challenges and costs of process-specific feed preheating systems	X			X		X		X	X	
 Evaluate and develop opportunities for recovery from unconventional waste heat sources (e.g., sidewall losses)									X	X
 Promote new heat recovery technologies such as solid-state generation					X					X
 Promote low-cost manufacturing techniques for the technologies described above	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X



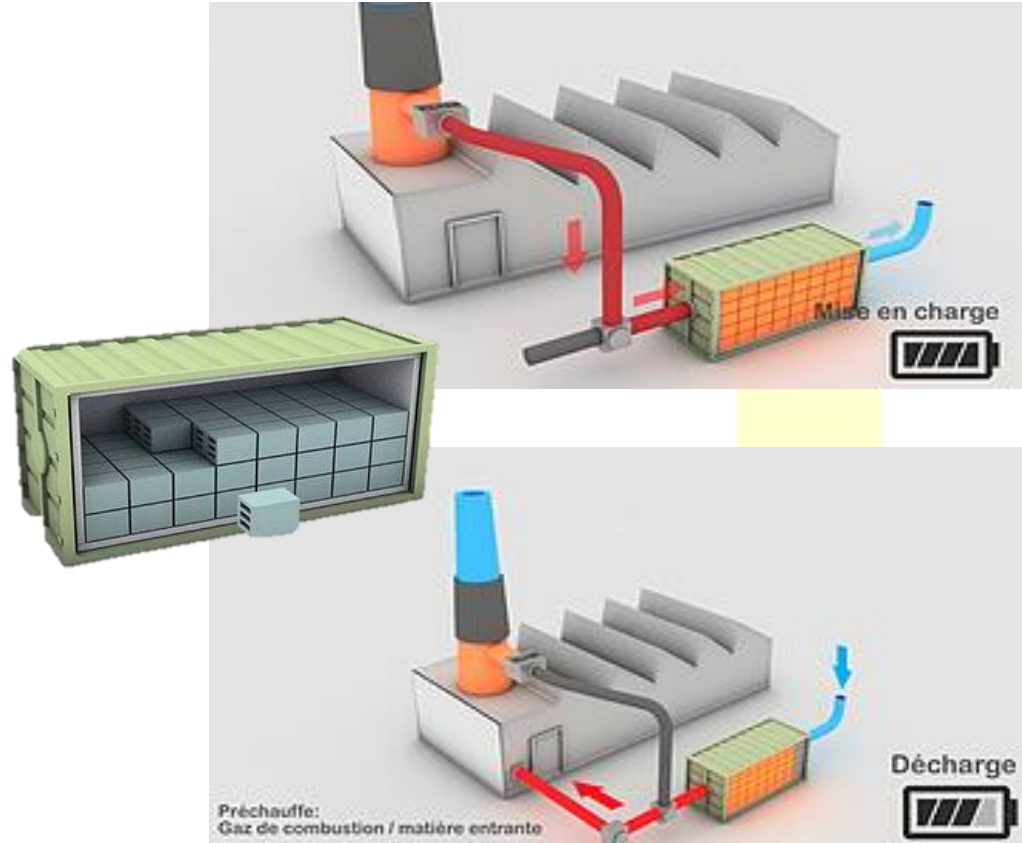


# INNOVATION TECHNOLOGIQUE INDUSTRIELLE

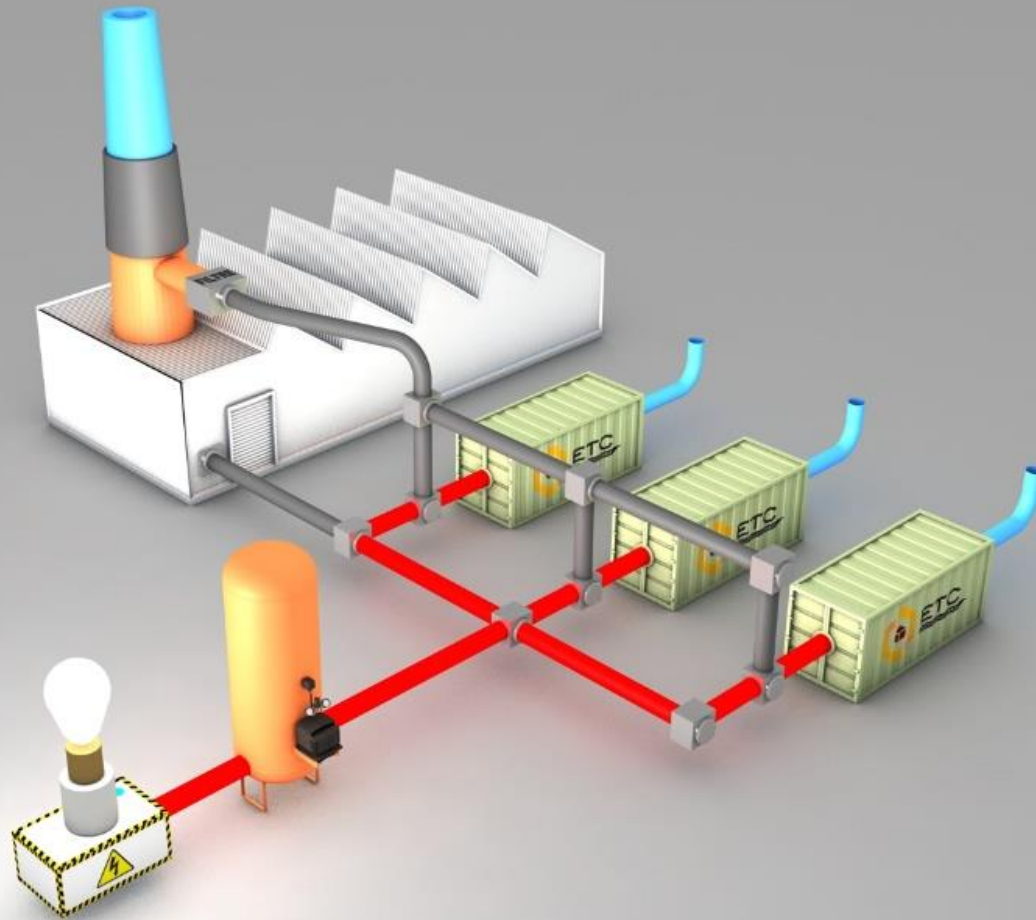
Pour une énergie propre, sûre et compétitive

# LA SOLUTION DE STOCKAGE DE CHALEUR ECOSTOCK

- Low Cost Matériel
- Container-Size
- Plug and Play
- Simple and Safe
- Easy maintenance
- Mobile
- Efficiency > 92%
- ROI from 3 years



pour une chaleur propre sure mais compétitive !!



[https://www.youtube.com/watch?v=12e-lyUCH\\_M](https://www.youtube.com/watch?v=12e-lyUCH_M)

# RECONNAISSANCES



ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



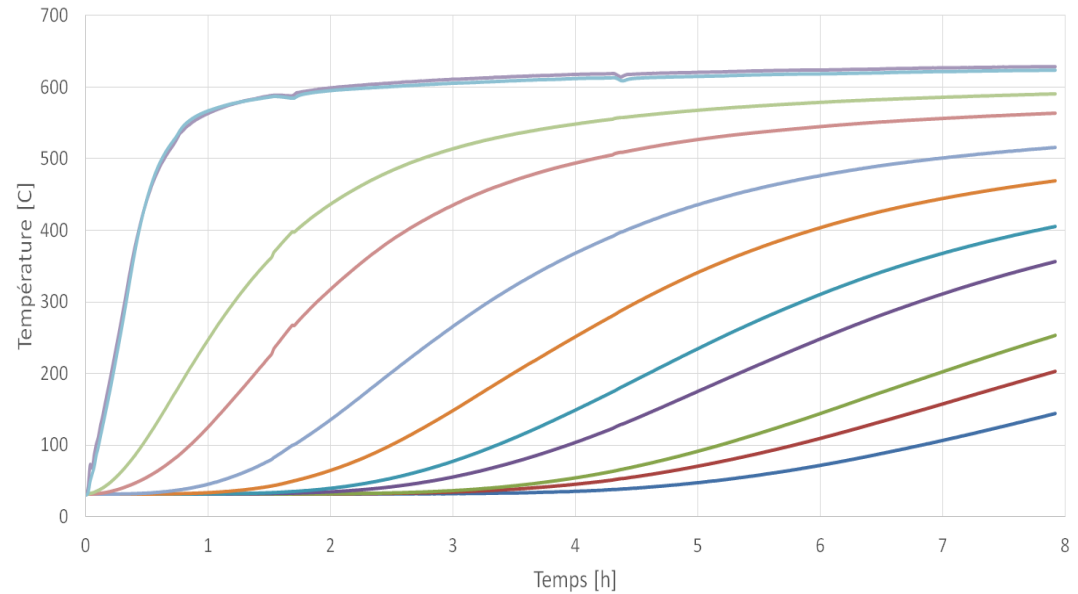
# MATÉRIAUX DE STOCKAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE



➔ DES CÉRAMIQUES ECO-EFFICACES



# DÉMONSTRATEUR DE STOCKAGE THERMIQUE



- Faisabilité technique
- Efficacité de la charge  $\sim 75\%$  (Sto/Sto max)
- Température de percée optimale =  $150^{\circ}\text{C}$
- Diffuseur requis pour l'Unité industrielle

# PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

## Matériaux de stockage

- Brevet Matériaux en 2014  
→ PCT 2015

## ECOSTOCK

- Brevet ECOSTOCK en 2015  
→ PCT 2016

- Lauréat INPI
- Stratégie de PI : plusieurs brevets en cours (Matériaux, Énergie)
- Partenariat potentiel avec SATT AxLR
- Programme de maturation



# PREMIÈRE UNITÉ INDUSTRIELLE TRL 7 → TRL 8



➤ Mise en Service

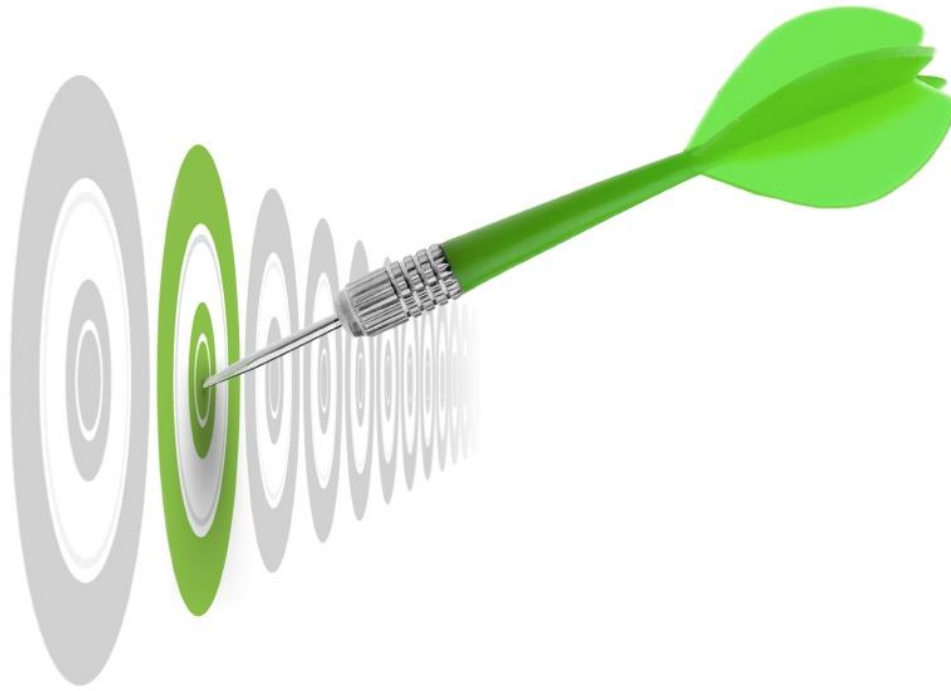
▪ Q1 2017

➤ Validation des performances

▪ Q2 2017

➤ Implantation sur site industriel

▪ Q3 2017



# STRATÉGIE MARKETING

Pour un développement international rapide

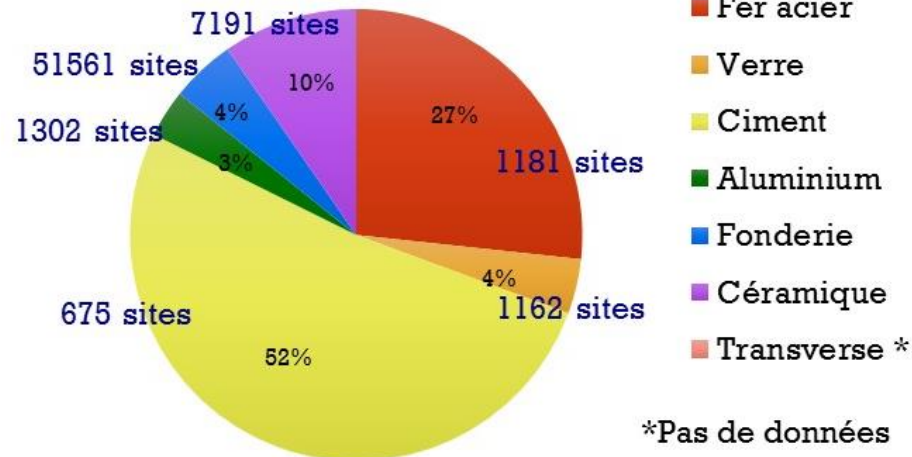


# LE GISEMENT DE CHALEUR « FATALE »

Gisement français des industries lourdes (150°C – 1000°C) : 12 TWh et nombre de sites industriels



Gisement mondial : 1300 TWh



\*Pas de données

Table 4 - Temperature Classification of Waste Heat Sources and Related Recovery Opportunity

Temp Range	Example Sources	Temp (°F)	Temp (°C)	Advantages	Disadvantages/Barriers	Typical Recovery Methods/Technologies
<b>High</b> >1,200°F [> 650°C]	Nickel refining furnace	2,500-3,000	1,370-1,650	High-quality energy, available for a diverse range of end-uses with varying temperature requirements	High temperature creates increased thermal stresses on heat exchange materials	Combustion air preheat
	Steel electric arc furnace	2,500-3,000	1,370-1,650			Steam generation for process heating or for mechanical/electrical work
	Basic oxygen furnace	2,200	1,200			
	Aluminum reverberatory furnace	2,000-2,200	1,100-1,200	High efficiency power generation	Increased chemical activity/corrosion	Furnace load preheating
	Copper refining furnace	1,400-1,500	760-820			Transfer to med-low temperature processes
	Steel heating furnace	1,700-1,900	930-1,040	High heat transfer rate per unit area		
	Copper reverberatory furnace	1,650-2,000	900-1,090			
	Hydrogen plants	1,200-1,800	650-980			
	Fume incinerators	1,200-2,600	650-1,430			
	Glass melting furnace	2,400-2,800	1,300-1,540			
	Coke oven	1,200-1,800	650-1,000			
Iron cupola	1,500-1,800	820-980				
<b>Medium</b> 450-1,200°F [230-650°C]	Steam boiler exhaust	450-900	230-480	More compatible with heat exchanger materials		Combustion air preheat
	Gas turbine exhaust	700-1,000	370-540	Practical for power generation		Steam/ power generation
	Reciprocating engine exhaust	600-1,100	320-590			Organic Rankine cycle for power generation
	Heat treating furnace	800-1,200	430-650			Furnace load preheating, feedwater preheating
	Drying & baking ovens	450-1,100	230-590	Transfer to low-temperature processes		
	Cement kiln	840-1,150	450-620			



# NATURE DES FUMÉES

	Sous-secteurs	Température (°C)	Fonctionnement	Propre	Corrosive	Encrassante
Fer acier	Four à coke	950	continu/batch	non	+	++
		800	continu/batch	oui	+	o
	Hauts fourneaux	460	continu	non	o	++
		100-250	continu	non	o	++
	Fours à oxygène basique	1700	continu/batch	non	+	++
	Fours à arc électrique	250-1200	batch	non	+	++
Verre	Fusion du verre	400-950	continu	oui	+	o
		1400	continu	oui	++	o
Ciment	Four à ciment	320-450	continu	non	+	++
Aluminium	Cellules Hall-Heroult (primaire)	700	batch	oui	o	o
	Four de fusion (secondaire)	530-1200	continu/batch	oui	o	+
Fonderie	Cubilot Fer	200-900	continu/batch	oui	o	+
Transverse	Chaudière vapeur	200	continu	oui	o	o
	Turbine Brayton	300-600	continu	oui	o	o
	Moteur à explosion	300-600	continu	oui	o	+
	Séchoirs industriels	200-600	continu	oui	o	o
Céramique	Porcelaine	1200	batch	oui	o	o
	Briques et tuiles	400	continu	oui	o	o
	Carreaux	400	continu	oui	o	o
	Matériaux réfractaires	1200-1300	batch	oui	o	o

o	neutre
+	faible
++	important





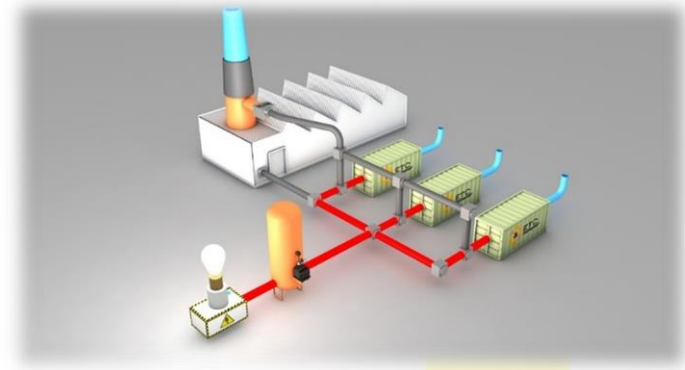
# MODELE ECONOMIQUE

Flexible mais toujours Win Win

# 3 CATÉGORIES DE CLIENTS

## ➤ L'industriel

- TRI > 12%
- Ex : ARCELORMITTAL



## ➤ Le distributeur de chaleur

- TRI > 9%
- Ex : DALKIA / COFELY

## ➤ La Société de service énergétique

- TRI > 6%
- EX : KYOTHERM

**11 lettres d'intérêt : (ArcelorMittal, Dalkia, ...)**



# CHAINE DE VALEUR : CLEF EN MAIN

NOUS ACCOMPAGNONS VOTRE PROJET...



...POUR L'ADAPTER À VOTRE BESOIN

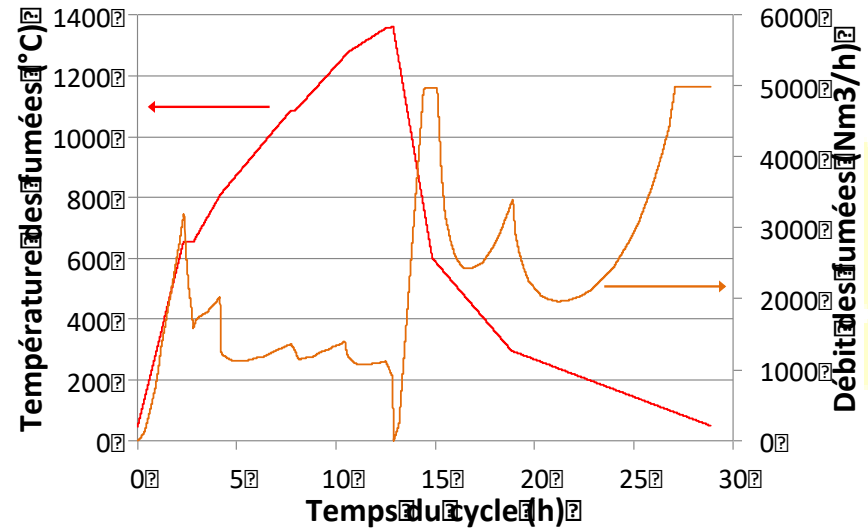
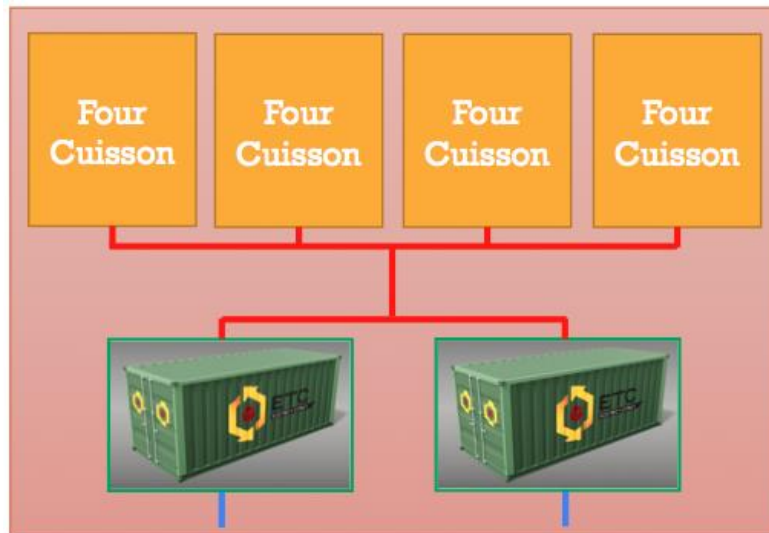
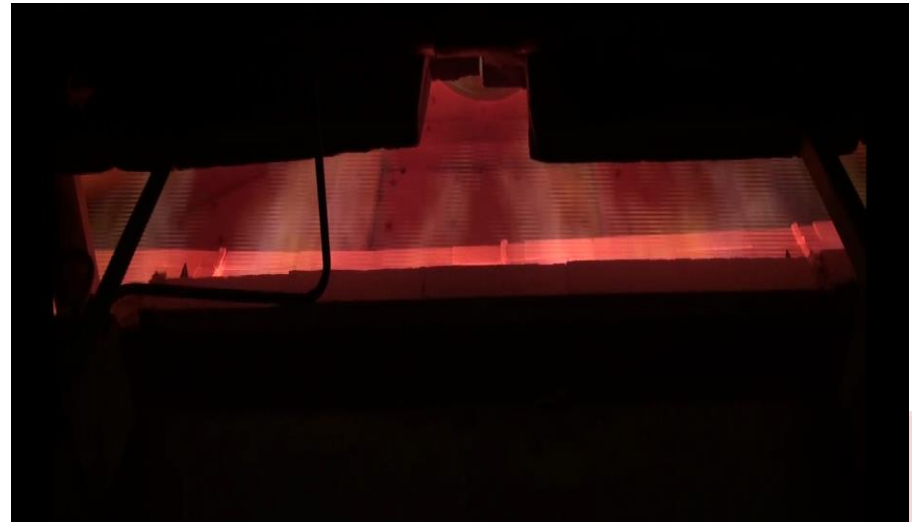


# BUSINESS CASE

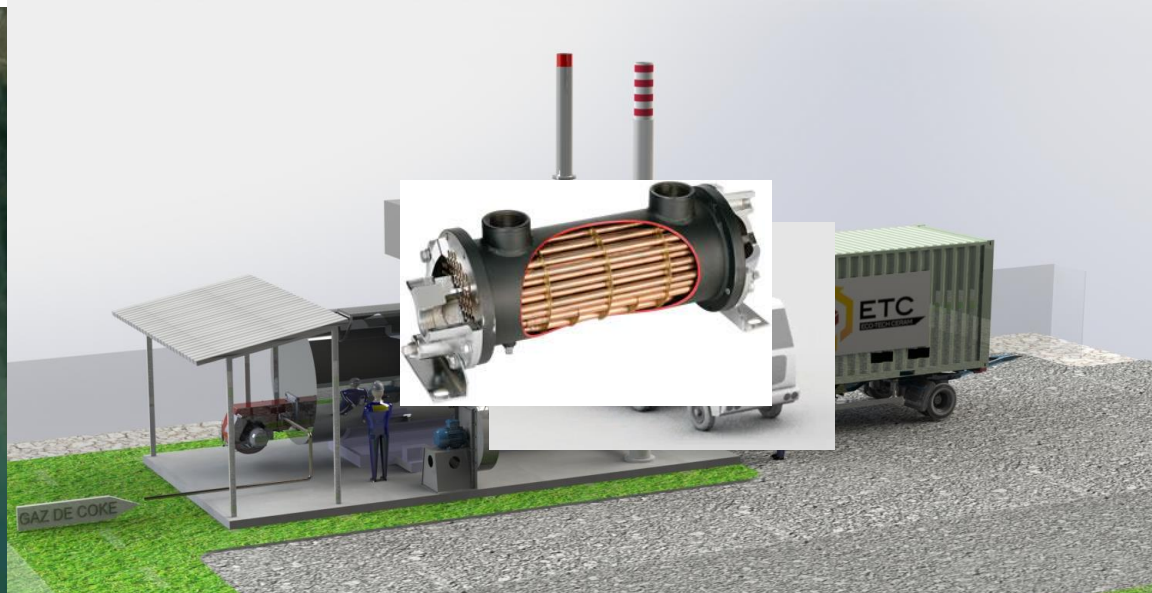
Sur cœur de cible



# LA CIBLE N°1 : LE FOUR BATCH (AU GAZ NAT)



# LA CIRIE N°2 • LES ECO PARC INDUSTRIELS



**Boiler**



**Heat pipe**



**MOBILSTOCK**

CAPEX



OPEX



TCO



CO<sub>2</sub>



RISK



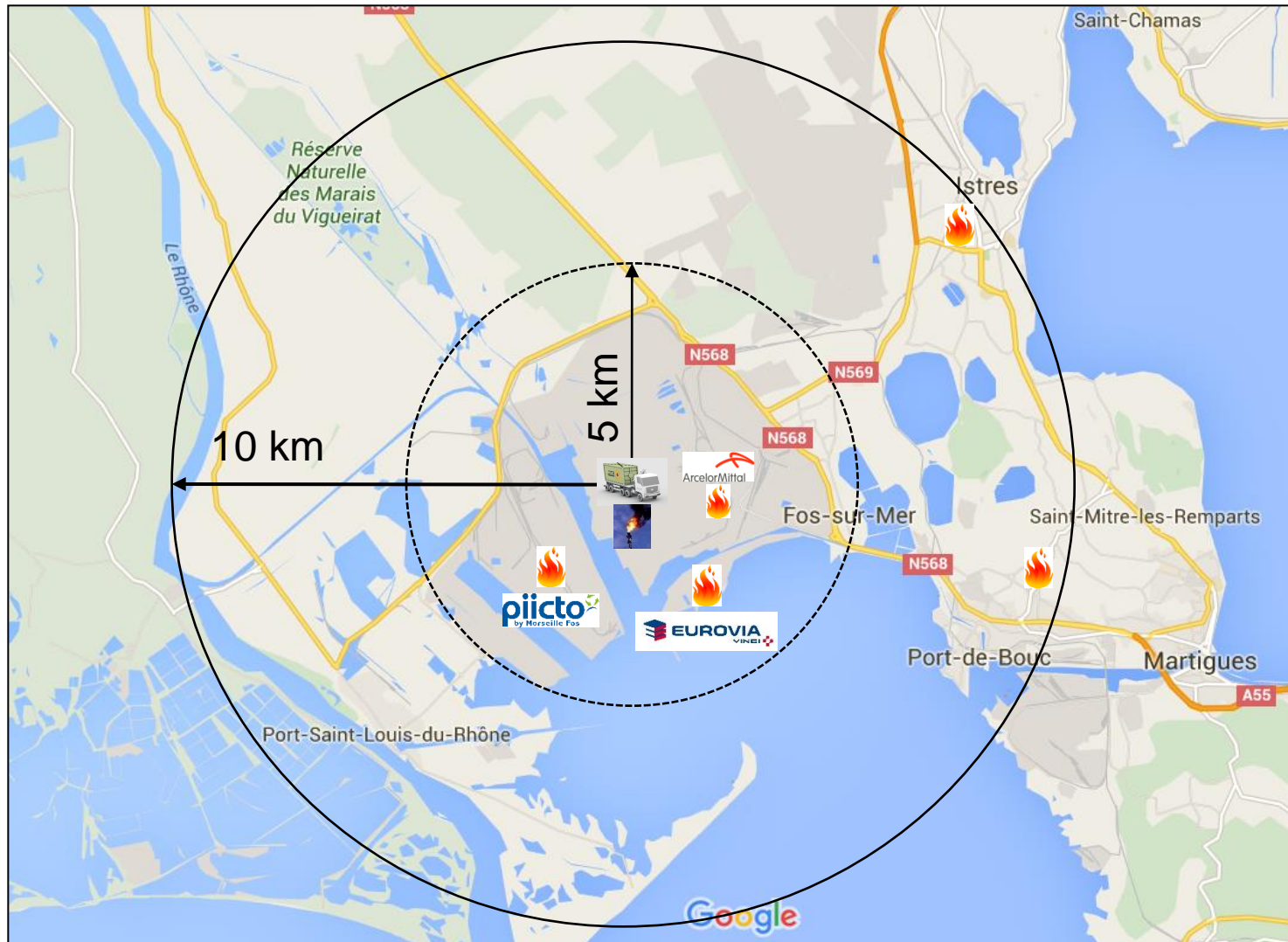
3D



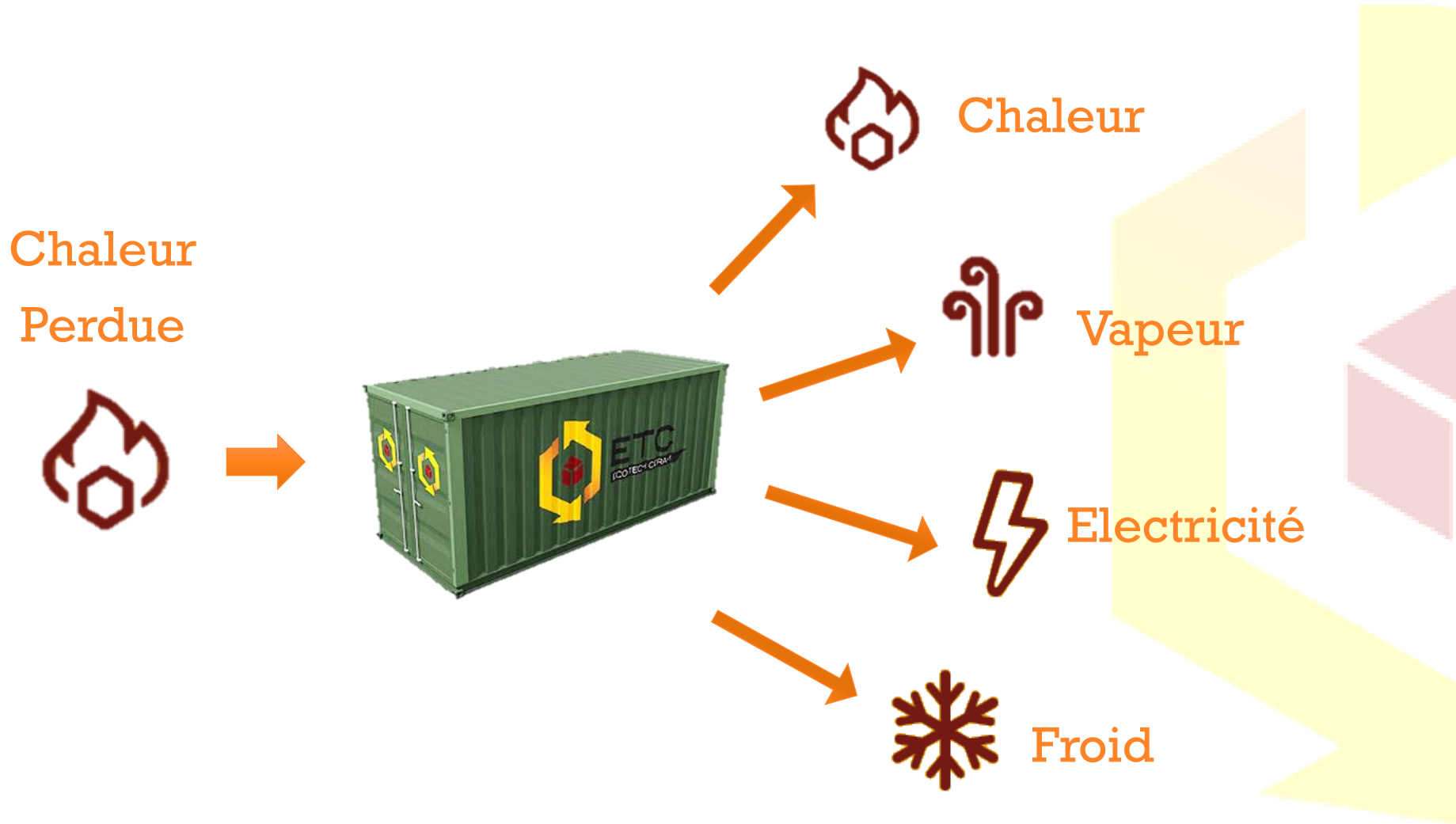
500 000€

500 m

# UN LARGE GAMME DE PROSPECT

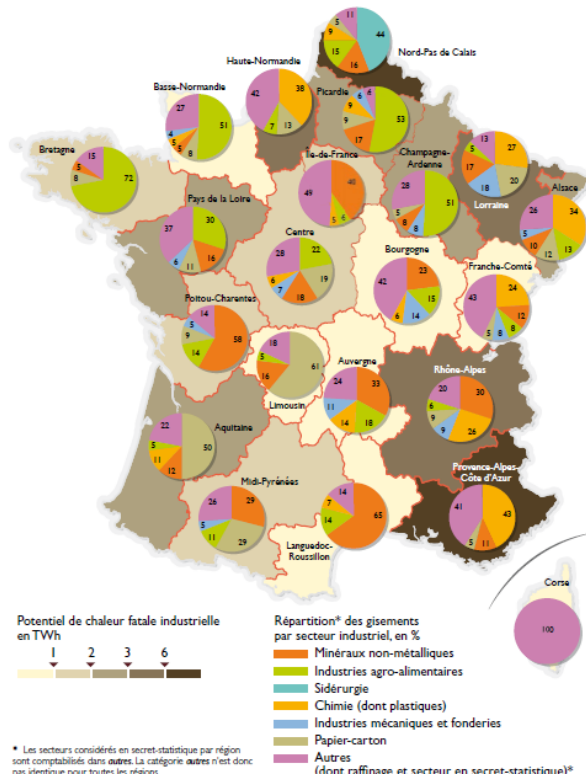


# DE LA CHALEUR PERDUE À L'ÉNERGIE COMPÉTITIVE

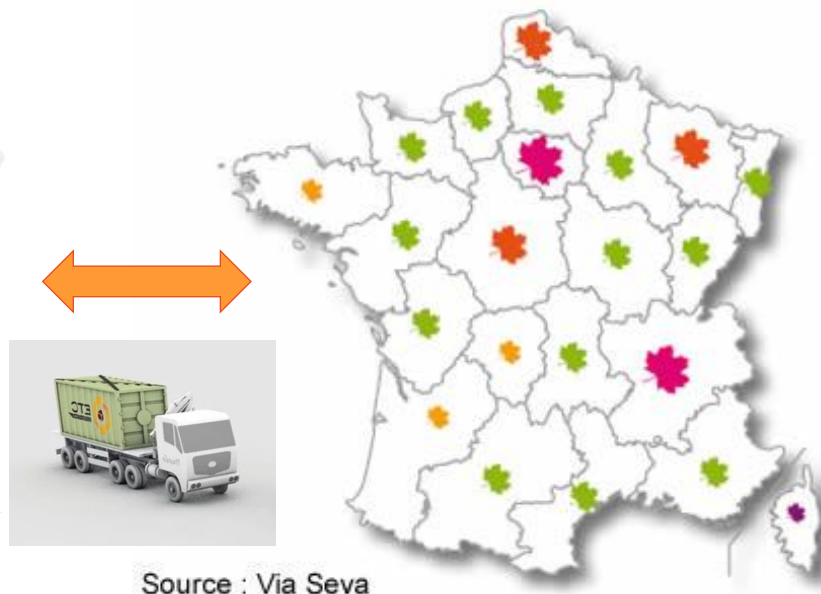


# DE NOUVELLES PARTS DE MARCHÉ

## Gisements de chaleur perdue



## RÉSEAUX DE CHALEUR en France



### Nombre de réseaux

- de 1 à 5
- de 5 à 10
- de 10 à 20
- de 20 à 50
- plus de 50

# PERFORMANCES DE L'ECOSTOCK

## Techniques

- $> 92\%$  de rendement ( $E_{des}/E_{sto}$ )
- Stabilité de Température

## Ecologiques

- 1 tCO<sub>2</sub>/jour
- Economie Circulaire

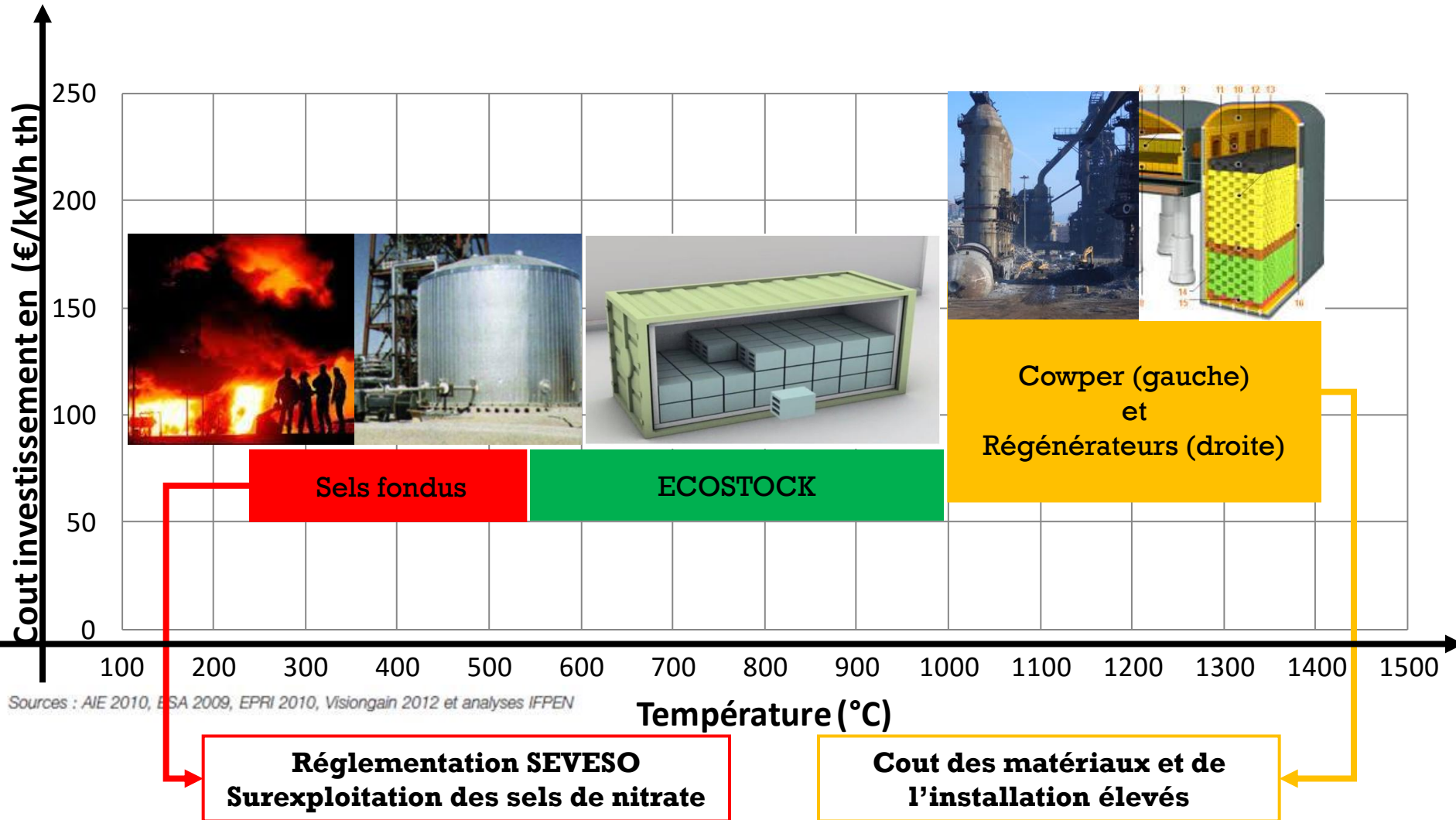
## Economiques

- 50 k€/an
- ROI à partir de 3 ans

## ECO-EFFICACITE <sup>2</sup>



# UNE SOLUTION DE STOCKAGE DE CHALEUR



## SUR UNE LARGE GAMME DE TEMPÉRATURE



# EQUIPE ET CAPITAL RÉSEAU

Complémentarité et excellence



# ECO-TECH CERAM, SAS,

➤ JEl issue du CNRS/UPVD



Doctorat : 2009 → 2013



➤ Capital

✓ 90% fondateurs + 10% KIC

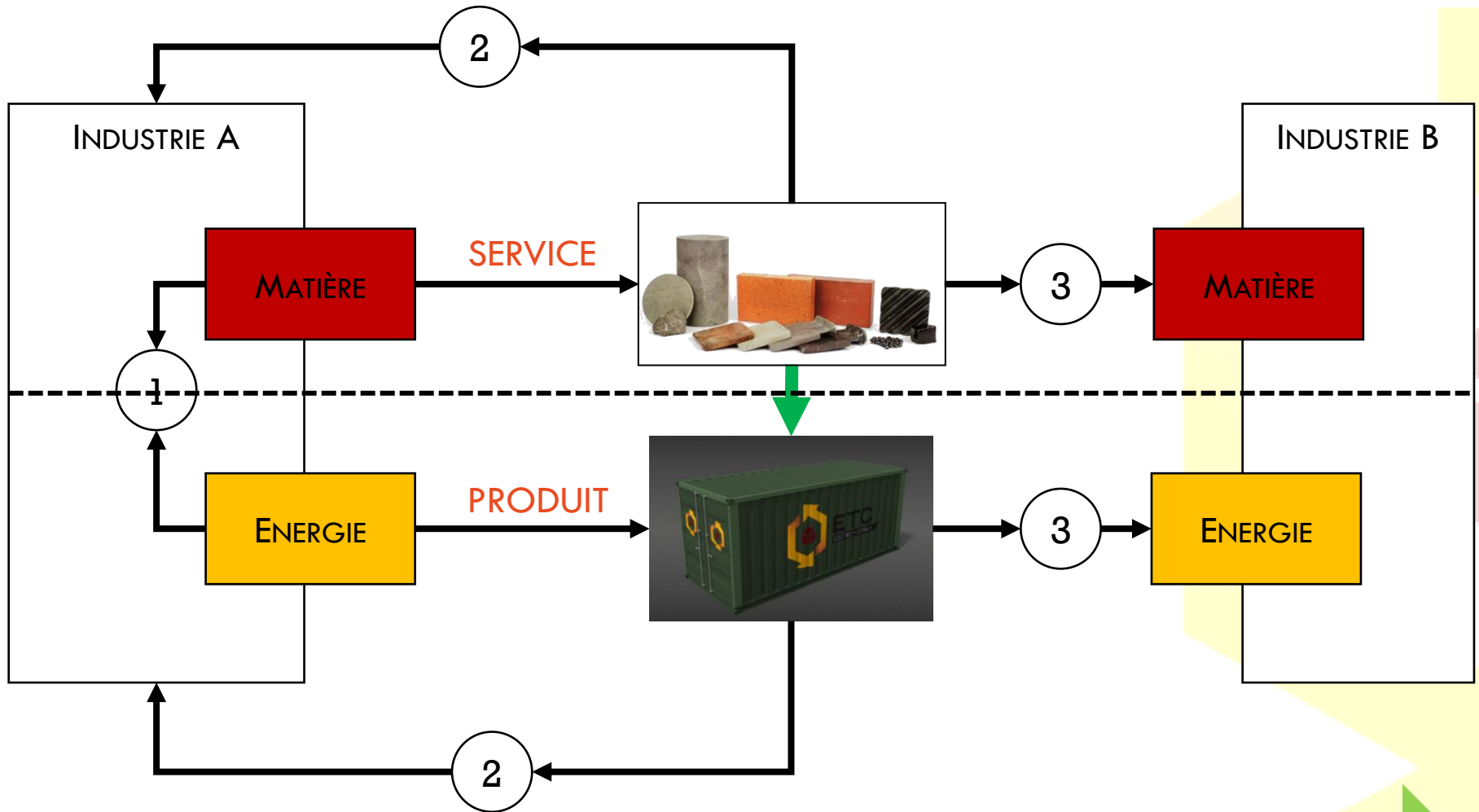
✓ 195 k€



➤ Mission : fournir des solutions clef en main



# L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE : BOUCLAGE DES FLUX



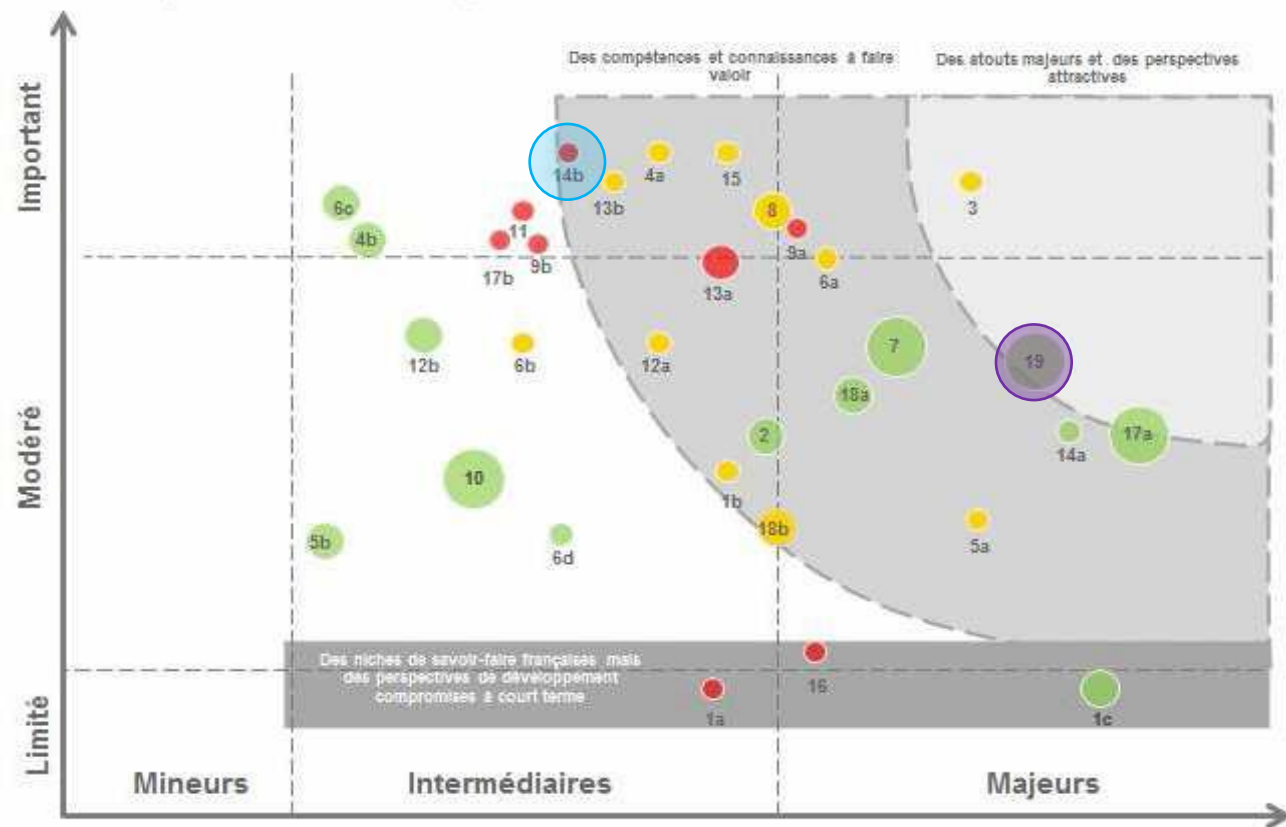
1 Réduction

2 Valorisation interne

3 Valorisation externe

# 2 FILIÈRES INDUSTRIELLES STRATÉGIQUES

Potentiel de développement du marché mondial (taux de croissance relatif)



## Légende

Maturité de la filière en 2012

- Filière en émergence
- Filière en décollage
- Filière mature

Taille du marché national en 2012

- Inférieur à 1 Md€
- Entre 1Md€ et 5Md€
- Supérieur à 5Md€

Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Énergie / CGDD – Mars 2013

## Production d'énergie à partir de sources renouvelables

1. Biocarburants
  - 1a Biocarburants algaux,
  - 1b Biocarburants avancés (hors algues)
  - 1c Biocarburants conventionnels
2. Biomasse énergie
3. Énergies marines
4. Éolien
  - 4a Éolien offshore
  - 4b Éolien terrestre
5. Géothermie
  - 5a Géothermie profonde
  - 5b Géothermie superficielle
6. Solaire
  - 6a Solaire CPV
  - 6b Solaire CSP
  - 6c Solaire PV
  - 6d Solaire thermique

## Filières d'optimisation des consommations de ressources naturelles

7. Bâtiment à faible impact environnemental
8. Chimie verte
9. Hydrogène et piles à combustibles
  - 9a Hydrogène
  - 9b Piles à combustible
10. Logistique et gestion de flux
11. Matériaux biosourcés
  - 11a Biopolymères
  - 11b Matériaux composites
12. Optimisation des procédés industriels
  - 12a Démarche d'optimisation des procédés
  - 12b Technologies d'optimisation des procédés
13. Réseaux énergétiques intelligents
  - 13a Infrastructures de smartgrid
  - 13b Smart metering
14. Stockage de l'énergie et batterie
  - 14a Stockage d'énergie (STEP)
  - 14b Stockage de l'énergie (hors STEP)
15. Véhicule décarboné

## Gestion du cycle de vie des ressources naturelles

16. Captage, Stockage et valorisation du CO2
17. Eau, Assainissement et Génie écologique
  - 17a Eau et Assainissement
  - 17b Génie écologique
18. Métrologie et instrumentation
  - 18a Métrologie satellitaire
  - 18b Métrologie terrestre
19. Recyclage et valorisation des déchets

# CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

- Un besoin international : stocker de manière compétitive
- Une solution de stockage clef en main : l'ECOSTOCK
- Une équipe & un capital réseau
- Recherche de partenaires industriels :
  - co-développement
  - Unité pilot
  - Investisseurs
- Mise en œuvre de la filière d'Ecologie industrielle



# MERCI POUR L'ORGANISATION

# ET MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Pour plus d'informations :



[www.ecotechceram.com](http://www.ecotechceram.com)

[antoine.meffre@ecotechceram.com](mailto:antoine.meffre@ecotechceram.com)

00 33 658 09 1500





Ministère  
de l'Écologie,  
du Développement  
durable  
et de l'Énergie



MINISTÈRE DU REDRESSEMENT  
PRODUCTIF



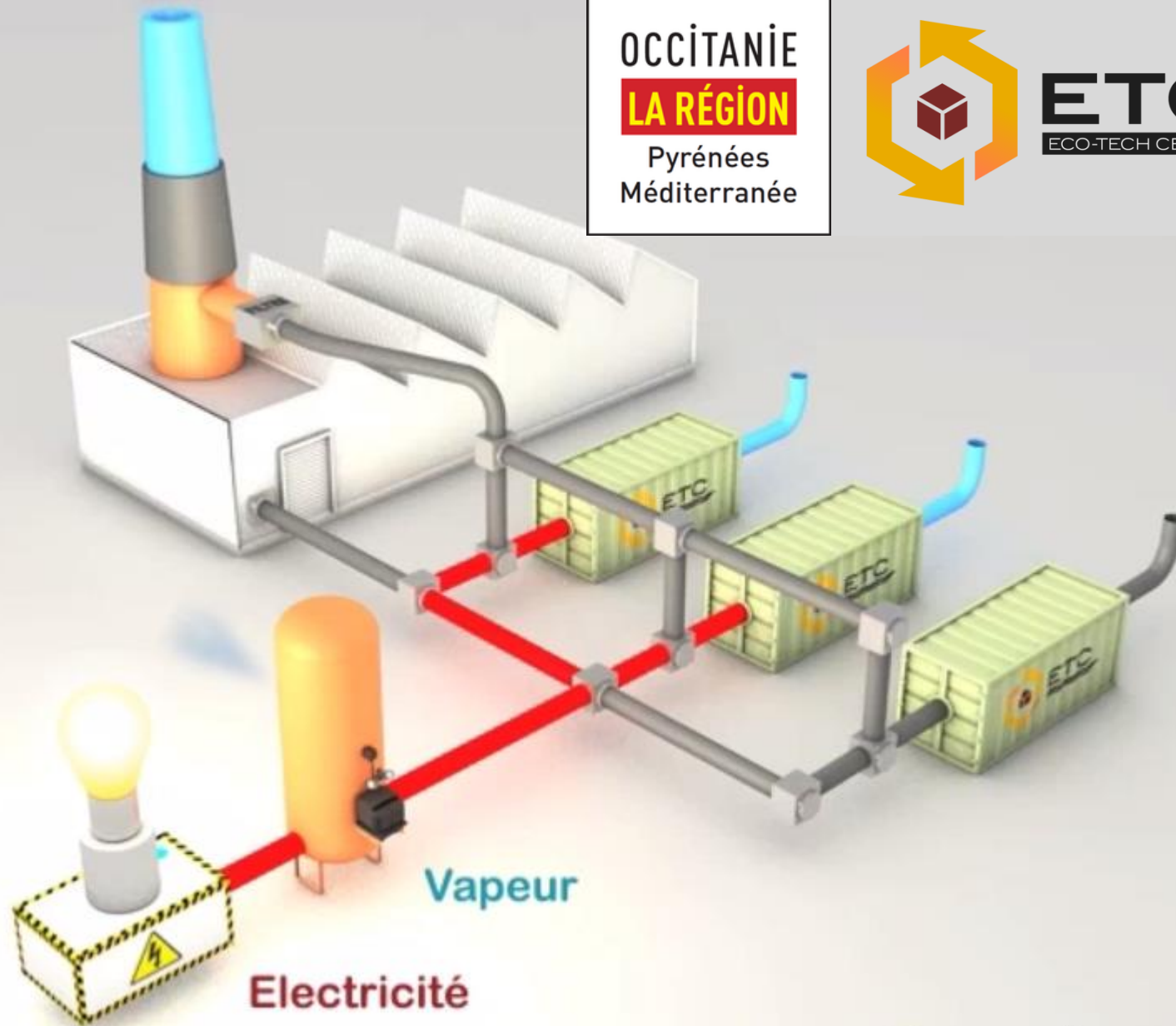
MINISTÈRE DE  
L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR ET DE  
LA RECHERCHE



OCCITANIE  
**LA RÉGION**  
Pyrénées  
Méditerranée



**ETC**  
ECO-TECH CERAM



Solutions techniques pour la production d'énergie  
propre, sûre et compétitive

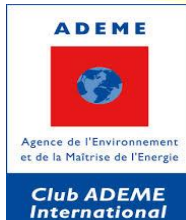




# CAPITAL RÉSEAU & PARTENAIRES



ArcelorMittal



### 3.1.2 Regenerator

#### 3.1.2.1 Furnace Regenerator

Regenerative furnaces consist of two brick “checkerwork” chambers through which hot and cold airflow alternately (Figure 6). As combustion exhausts pass through one chamber, the bricks absorb heat from the combustion gas and increase in temperature. The flow of air is then adjusted so that the incoming combustion air passes through the hot checkerwork, which transfers heat to the combustion air entering the furnace. Two chambers are used so that while one is absorbing heat from the exhaust gases, the other is transferring heat to the combustion air. The direction of airflow is altered about every 20 minutes. Regenerators are most frequently used with glass furnaces and coke ovens, and were historically used with steel open-hearth furnaces, before these furnaces were replaced by more efficient designs. They are also used to preheat the hot blast provided to blast stoves used in ironmaking; however, regenerators in blast stoves are not a heat recovery application, but simply the means by which heat released from gas combustion is transferred to the hot blast air (see - Section 4.3.1.2 Blast Furnace). Regenerator systems are specially suited for high-temperature applications with dirty exhausts. One major disadvantage is the large size and capital costs, which are significantly greater than costs of recuperators.<sup>14</sup>

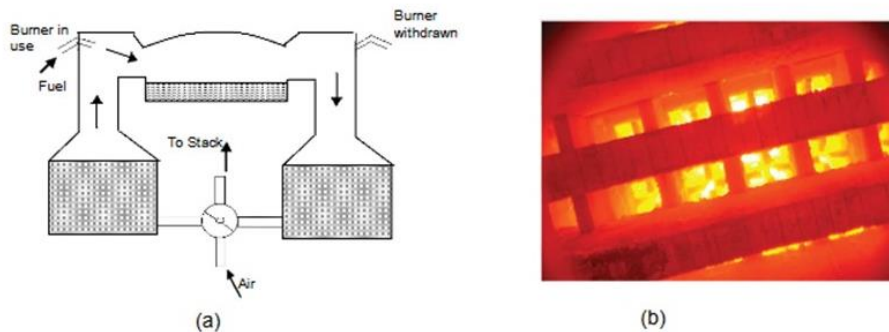
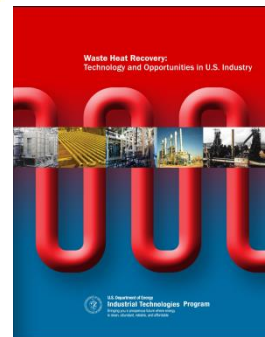


Figure 6 - (a) Regenerative Furnace Diagram,  
(b) Checkerwork in Glass Regenerative Furnace (Source: GS Energy & Environment, 2007)

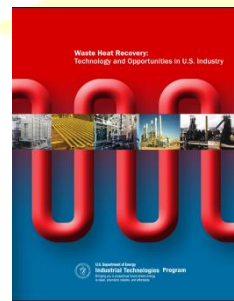
#### 3.1.2.2 Rotary Regenerator/Heat Wheel

Rotary regenerators operate similar to fixed regenerators in that heat transfer is facilitated by storing heat in a porous media, and by alternating the flow of hot and cold gases through the regenerator. Rotary regenerators, sometimes referred to as air preheaters and heat wheels, use a rotating porous disc placed across two parallel ducts, one containing the hot waste gas, the other containing cold gas (Figure 7). The disc, composed of a high heat capacity material, rotates between the two ducts and transfers heat from the hot gas duct to the cold gas duct. Heat wheels are generally restricted to low- and medium-temperature applications due to the thermal stress created by high temperatures. Large temperature differences between the two ducts can lead to differential expansion and large deformations, compromising the integrity of duct-wheel air seals. In some cases, ceramic wheels can be used for higher-temperature applications. Another challenge with heat wheels is preventing cross contamination between the two gas streams, as contaminants can be transported in the wheel's porous material.



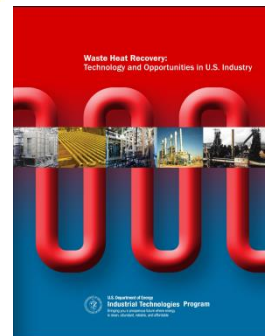
**Table 4 - Temperature Classification of Waste Heat Sources and Related Recovery Opportunity**

Temp Range	Example Sources	Temp (°F)	Temp (°C)	Advantages	Disadvantages/ Barriers	Typical Recovery Methods/ Technologies
<b>High</b> >1,200°F [> 650°C]	Nickel refining furnace	2,500-3,000	1,370-1,650	High-quality energy, available for a diverse range of end-uses with varying temperature requirements	High temperature creates increased thermal stresses on heat exchange materials	Combustion air preheat  Steam generation for process heating or for mechanical/ electrical work
	Steel electric arc furnace	2,500-3,000	1,370-1,650			
	Basic oxygen furnace	2,200	1,200			
	Aluminum reverberatory furnace	2,000-2,200	1,100-1,200			
	Copper refining furnace	1,400-1,500	760-820	High-efficiency power generation	Increased chemical activity/corrosion	Furnace load preheating
	Steel heating furnace	1,700-1,900	930-1,040			
	Copper reverberatory furnace	1,650-2,000	900-1,090	High heat transfer rate per unit area		Transfer to med-low temperature processes
	Hydrogen plants	1,200-1,800	650-980			
	Fume incinerators	1,200-2,600	650-1,430			
	Glass melting furnace	2,400-2,800	1,300-1,540			
Coke oven	1,200-1,800	650-1,000				
Iron cupola	1,500-1,800	820-980				
<b>Medium</b> 450-1,200°F [230-650°C]	Steam boiler exhaust	450-900	230-480	More compatible with heat exchanger materials		Combustion air preheat Steam/ power generation Organic Rankine cycle for power generation Furnace load preheating, feedwater preheating Transfer to low-temperature processes
	Gas turbine exhaust	700-1,000	370-540			
	Reciprocating engine exhaust	600-1,100	320-590			
	Heat treating furnace	800-1,200	430-650	Practical for power generation		
	Drying & baking ovens	450-1,100	230-590			
	Cement kiln	840-1,150	450-620			



**Table 20 - Unrecovered Waste Heat and Work Potential from Selected Process Exhaust Gases**

Source	Energy Consumption TBtu/yr	Assumed Average Exhaust Temperature		Waste Heat 77°F [25°C] Ref TBtu/yr	Waste Heat 300°F [150°C] Ref TBtu/yr	Carnot Efficiency	Work Potential TBtu/yr
		°F	°C				
Aluminum Primary	146.1			9.47	6.73	70%	7.11
Hall Heroult Cells	134.6	1,292	700	2.6	2.2	69%	1.8
Aluminum Secondary							
no Recovery	9.3	2,100	1,150	6.1	4.2	70%	4.8
with Recovery	2.2	1,000	538	0.8	0.4	63%	0.5
Iron/Steel Making	828.6			79.1	57.3		52.3
Coke Oven	65.3						
Gas		1,800	980	15.8	13.9	76%	12.1
Waste Gas		392	200	11.2	10.0	77%	4.1
Blast Furnace	642.3						
Blast Furnace Gas		200	430	5.3	-	19%	1.0
Blast Stove Exhaust							
no Recovery	36.2	482	250	10.6	1.9	43%	4.6
with Recovery	34.1	266	130	3.2	-	26%	0.8
Basic Oxygen Furnace	49.7	3,100	1,700	27.1	26.0	85%	23.0
Electric Arc Furnace							
no Recovery	57.7	2,200	1,200	5.8	5.4	80%	4.6
with Recovery	13.3	400	204	0.2	0.1	38%	0.1
Glass Melting	125.8			43.0	24.1		28.9
Regenerative	54.4	800	427	15.1	6.5	57%	8.7
Recuperative	13.6	1,800	982	7.6	5.4	76%	5.8
Oxy/Fuel	12.8	2,600	1,420	4.2	2.7	82%	3.4
Electric Boilers	34.9	800	427	8.6	3.7	57%	4.9
Direct Melter	10.1	2,400	1,316	7.5	5.8	81%	6.1
Cement	389.5			83.1	44.3		44.1
Wet kiln	98.0	640	338	18.8	9.4	51%	9.6
Dry kiln	80.2	840	449	20.6	12.8	59%	12.1
Preheater (only)	67.8	640	338	13.9	7.0	51%	7.1
Preclinker	143.4	640	338	29.7	15.1	51%	15.2
Metal Casting	74.6			32.8	24.0		24.6
Aluminum							
Reverb Furnace	19.0	2,100	1,150	12.5	8.5	70%	9.9
Stack Melter	1.1	250	121	0.2	-	24%	0.0
Iron Cupola							
no Recovery	46.7	1,650	900	19.3	15.3	75%	14.4
with Recovery	7.8	400	204	0.8	0.2	38%	0.3
Boilers	6,500.0			1,169.7	100.0		414.2
Conventional Fuels							
no Recovery	812.5	500	260	173.8	36.5	44%	76.6
with Recovery	2,437.5	300	150	394.3	-	30%	116.5
Byproduct Fuels							
no Recovery	812.5	500	260	173.8	36.5	44%	76.6
with Recovery	2,437.5	350	177	427.8	27.0	34%	144.4
Ethylene Furnace	374.0	300	149	60.5	-	29%	17.8
<b>Total</b>	<b>8,439</b>			<b>1,478</b>	<b>257</b>		<b>589</b>



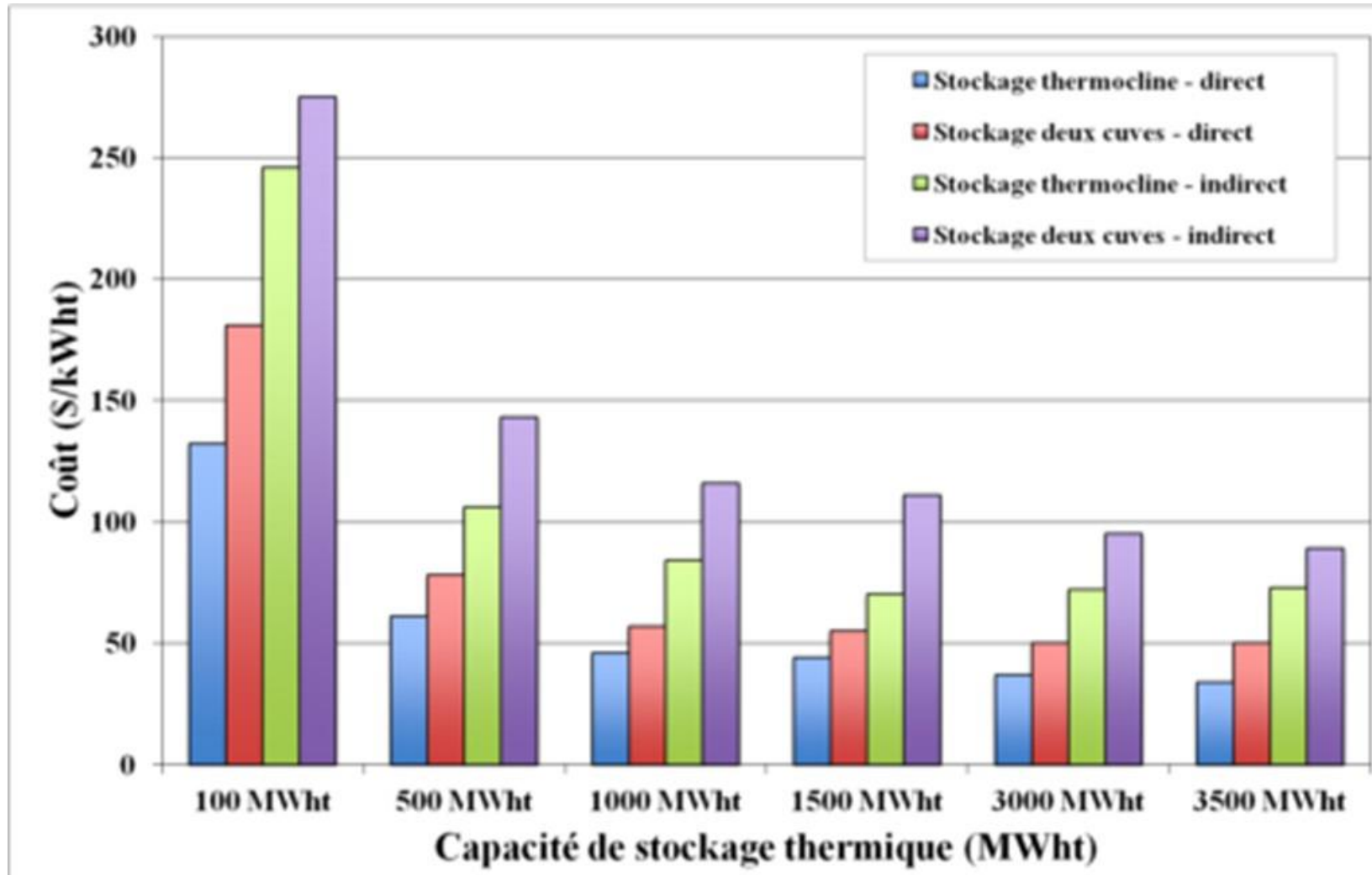
# VIABILITÉ ÉCONOMIQUE

	(par Ecostock)	Capex	Opex	PBT comptable	
		€	€/an	brut	optimisé
Fer acier	Four à coke	424 600	-6 340	3	3
		384 590	-6 330	4	3
	Hauts fourneaux	-	-	-	-
		-	-	-	-
	Fours à oxygène basique	-	-	-	-
Fours à arc électrique	-	-	-	-	
Verre	Fusion du verre	384 590	-6 060	3	3
Ciment	Four à ciment	424 590	-5 680	5	4
Aluminium	Cellules Hall-Heroult	384 590	-4 860	7	5
	Four de fusion	337 240	-5 380	4	3
Fonderie	Cubilot Fer	304 600	-3 170	14	8
Céramique	Porcelaine	304 600	-3 410	5	4
	Briques et tuiles	343 700	-5 610	12	7
	Carreaux	381 530	-6 480	7	5
	Matériaux réfractaires	384 590	-5 690	4	3

**CAPEX** : correspond à une unité de stockage et 10 m de gaines pour l'installation sur le site industriel. Le CAPEX tient compte de la température, du débit et de la propreté des fumées.

**OPEX** : 1% du CAPEX dédié à la maintenance + consommation électrique du ventilateur

# DEUX CUVES VS THERMOCLINE



# FICHE TECHNIQUE 1 / 2

Technical Parameters	
Conception	
Volume [m <sup>3</sup> ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>EcoStock</u>: 20 foots ISO Container               <ul style="list-style-type: none"> <li>- L=6 m</li> <li>- l=2,4 m</li> <li>- h=2,5 m</li> <li>- V= 38 m<sup>3</sup></li> </ul> </li> <li>▪ Capabilities for industrial processes, waste heat recovery : modular system, from 9 m<sup>3</sup> to n EcoStock x 9 m<sup>3</sup> according to the needs</li> </ul>
Energetic density [KWh/m <sup>3</sup> ]	<u>EcoStock</u> : 142 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> with ΔT=570 °C
Stored Energy [KWh]	<u>EcoStock</u> : 1 330 kWh <sub>th</sub> (ΔT=570 °C)
Maximum output power [kW]	<u>EcoStock</u> : 890 kW (600°C – 20 000 m <sup>3</sup> /h)
Thermal storage material density [kg/m <sup>3</sup> ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Available solid materials: 1500 – 9000 kg/m<sup>3</sup></li> <li>▪ Eco-Tech Ceram refractory material : 2200 – 3500 kg/m<sup>3</sup></li> </ul>
Minimum loading duration [h]	<u>EcoStock</u> :1 h
Minimum discharging duration [h]	<u>EcoStock</u> : 1 h
Self-discharge [%/day]	<u>EcoStock</u> : 5 to 8%/day

# FICHE TECHNIQUE 2/2

Performance	
Thermal yield [kWh <sub>OUT</sub> /kWh <sub>IN</sub> ]	<u>EcoStock</u> : 90 - 97%
Durability	
Maximum number of use [cycles]	<u>EcoStock</u> : 500 - 10 000 cycles <sup>1</sup> (refractories)
Industrial parameters	
Annual disponibility [h]	8700 h
Storing temperature [°C]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>EcoStock</u>: 200°C to 600°C, possibility at 1000°C</li> <li>▪ <u>EcoStock</u>: refractory material acceptable temperature range : 200 1000 °C</li> </ul>
Response delay [minutes]	<u>EcoStock</u> : 10 min
Land use	
Land use [kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	<u>EcoStock</u> : 90 kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> (ΔT=570 °C) per ECOSTOCK but possibility to stack
Notes	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energetic density is calculated for optimal loading yield, corresponding to a 100% DOD.</li> <li>▪ Stored energy is calculated for 20 000 m<sup>3</sup>/h flow rate, with a 150°C treshold on discharge.</li> <li>▪ Loading and discharging duration are considered similar.</li> <li>▪ Energy and power parameters are given for ΔT= 570°C (600°C – Ambient).</li> </ul>	

<sup>1</sup> This estimation is given for non-corrosive/non-fouling heat transfer fluids, which would not damage the solid media.



## 6.2.1.4 Levelized Cost Of Storage (LCOS)

Le produit de référence d'une installation étant un MWh injecté sur le réseau, la méthodologie du Levelized Cost Of Storage (LCOS) a été privilégiée pour l'évaluation agrégée des coûts. **Le LCOS reflète la somme des coûts actualisés sur le cycle de vie de l'unité, divisée par la somme totale de l'énergie restituée actualisée sur le cycle de vie.** Le LCOS s'obtient selon :

$$LCOS = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{\text{Poste de coût } j \text{ à l'année } i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\text{Production en MWh à l'année } i}{(1+r)^i}}$$

Où :

- Les principaux postes de coûts sont opérations et maintenance, fiscalité, accès au réseau, investissement, et achat d'électricité (non pris en compte dans cette étude, car valeur calculée nette)
- n est le nombre d'années d'opération
- r est le taux d'actualisation

# LCOS

In order to evaluate the potential market for the EcoStock in these industrial sectors, both the technical feasibility and the economic turnout of the heat storage unit must be assessed. The LCOS (Levelized Cost Of Storage), which represents the cost of a thermal MWh for the ECOSTOCK, is hence calculated for each sector. It is the total present-day cost of an EcoStock for 10 years span divided by the cumulated generated energy. For the EcoStock, the LCOS was calculated with a discount rate of 10%. It takes into account the temperature as well as the cleanliness of the waste heat stream.

$$LCOS = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{\text{cost item } j \text{ for year } i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\text{energy production (MWh) during year } i}{(1+r)^i}}$$

*“The main cost items are the price of the EcoStock (CAPEX), the cost of maintenance and electricity consumption for the fan (OPEX).*

*n is the number of operating years (10 years)*

*r is the discount rate, which was set at 10%.”*

# COMPARAISON CONVENTIONNEL VS ECOSTOCK

	Stockage sensible	1 Ecostock	
Densité énergétique [kWh/t]	10 - 50	50 - 150	Delta T
Puissance th [ $MW_{th}$ ]	1 - 150	0,2 - 1	modulaire
Efficacité [%]	50 - 95	75 - 92	Thermocline
CAPEX [\$/kW]	3400 - 4500	400 - 800	Cuve + air + Mx
OPEX [\$/ $(kW*a)$ ]	120	5 - 10	Robuste
Coûts de production [\$/MWh]	80 - 110	3 - 5	PDC

# ORGANIGRAMME ETC

