

Effacité énergétique industrie

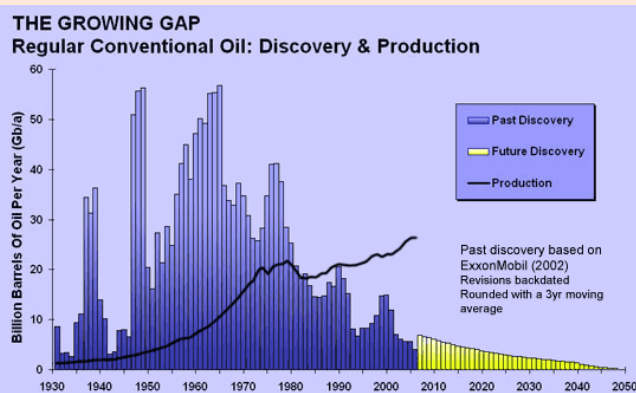
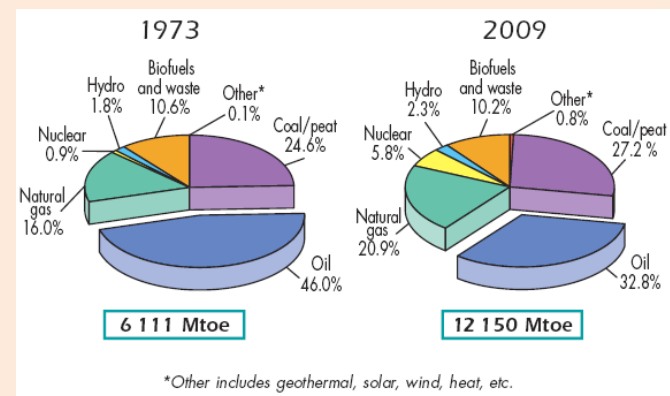
Pierre ODRU

Agence Nationale de la Recherche

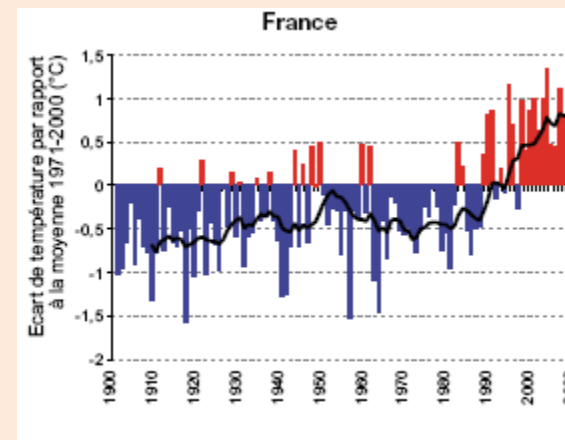
Présentation réalisée avec des données de EDF EECLER, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, GP 8 de l'ANCRE, CNRS, programme ANR SEED, et Jean Paul Gourlia.

CONTEXTE ENERGETIQUE GENERAL

Les énergies fossiles représentent toujours en 2009 plus de 80% de la production primaire d'énergie. Elles sont performantes, transportables, stockables, et toujours abondantes.



Mais les combustibles fossiles produisent de l'effet de serre, ne sont pas renouvelables, et manqueront un jour.



CONTEXTE FRANCE - EUROPE

- Le changement climatique domine désormais l'élaboration des politiques de recherche énergétique à l'échelle globale
- La thématique énergie-climat : des objectifs européens ambitieux et des défis scientifiques et technologiques majeurs pour 2020
 - 20% de réduction des émissions de GES
 - 20% d'énergie renouvelable
 - 20% de gain en efficacité énergétique
- **Division par quatre** des émissions de GES d'ici 2050 (*bien mal parti*)...
- **Les objectifs du Grenelle de l'environnement**: maintenir la consommation énergétique à 167 M Tep en 2020 (207 'as usual' *sans la crise*).

EFFICACITE ENERGETIQUE

L'efficacité énergétique consiste à rendre un service donné en utilisant le moins d'énergie possible. Elle se distingue des économies d'énergie.

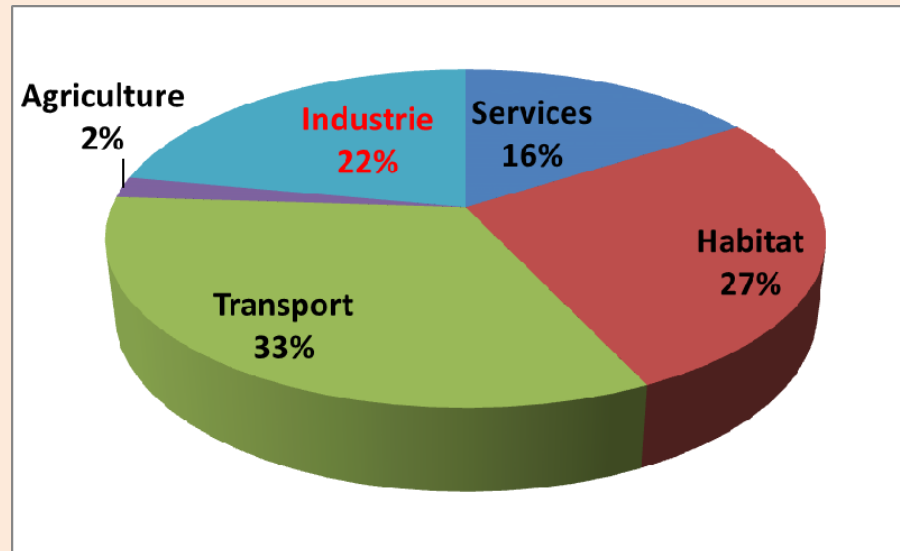
L'efficacité énergétique s'applique aux bâtiments, aux transports, et à l'industrie, dont l'industrie énergétique elle-même.

Elle peut prendre une dimension plus globale, intégrant les relations entre les activités humaines afin de produire une amélioration des bilans énergétiques à services rendus égaux.

Inversement il est nécessaire de vérifier que l'amélioration d'une chaîne ou d'un composant ne se traduit pas par une conséquence négative ailleurs.

Par extension l'efficacité énergétique englobe aussi la minimisation des rejets de gaz à effet de serre, la meilleure utilisation des ressources non énergétiques (eau...) et la minimisation de l'impact environnemental général.

ENJEUX ENERGETIQUES FRANCE

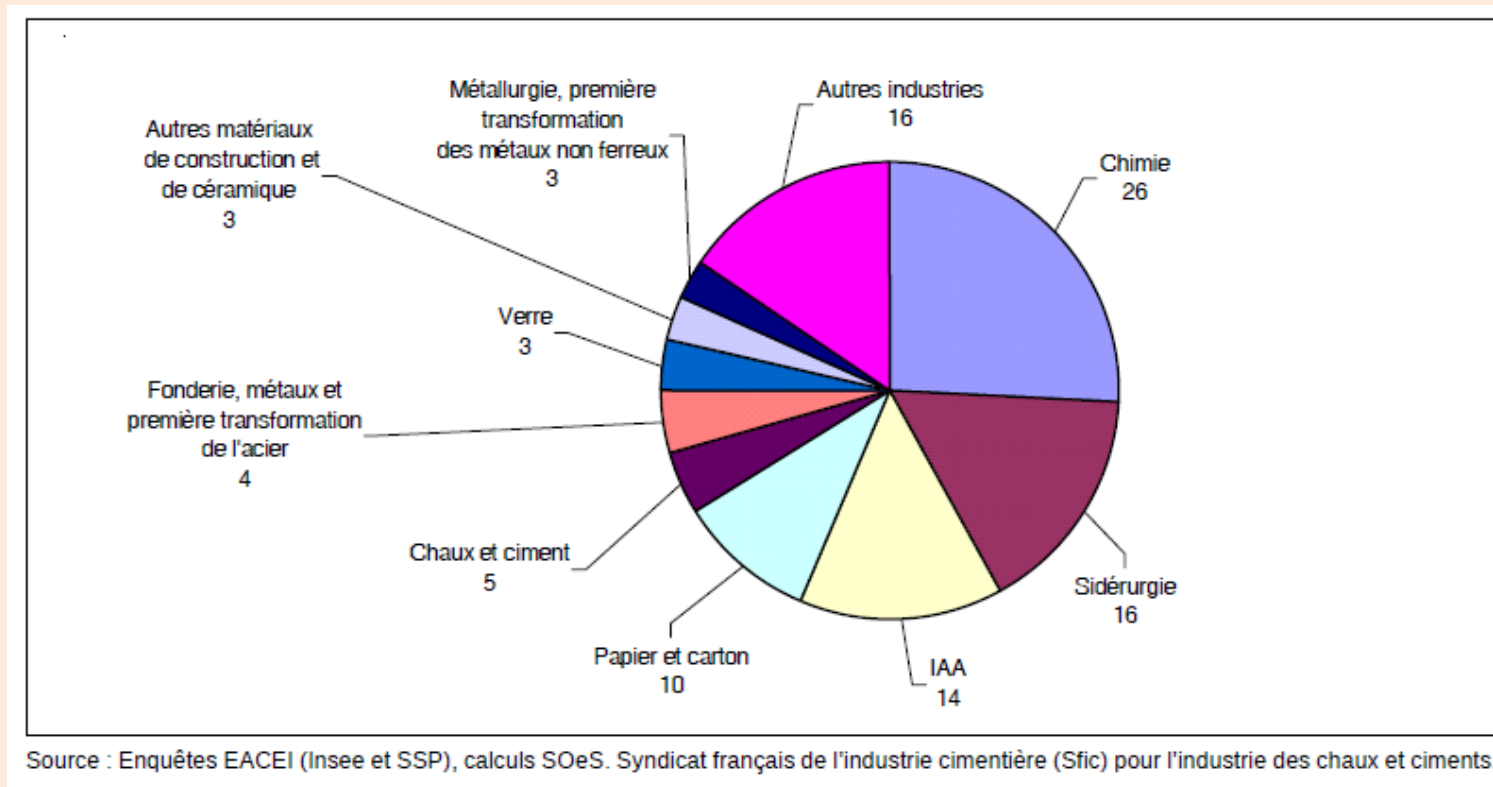


Consommation nationale en énergie finale: 160 Mtep/an

- ~ 43% dans le secteur habitat/tertiaire
- ~ 24% pour le secteur industriel et l'agriculture

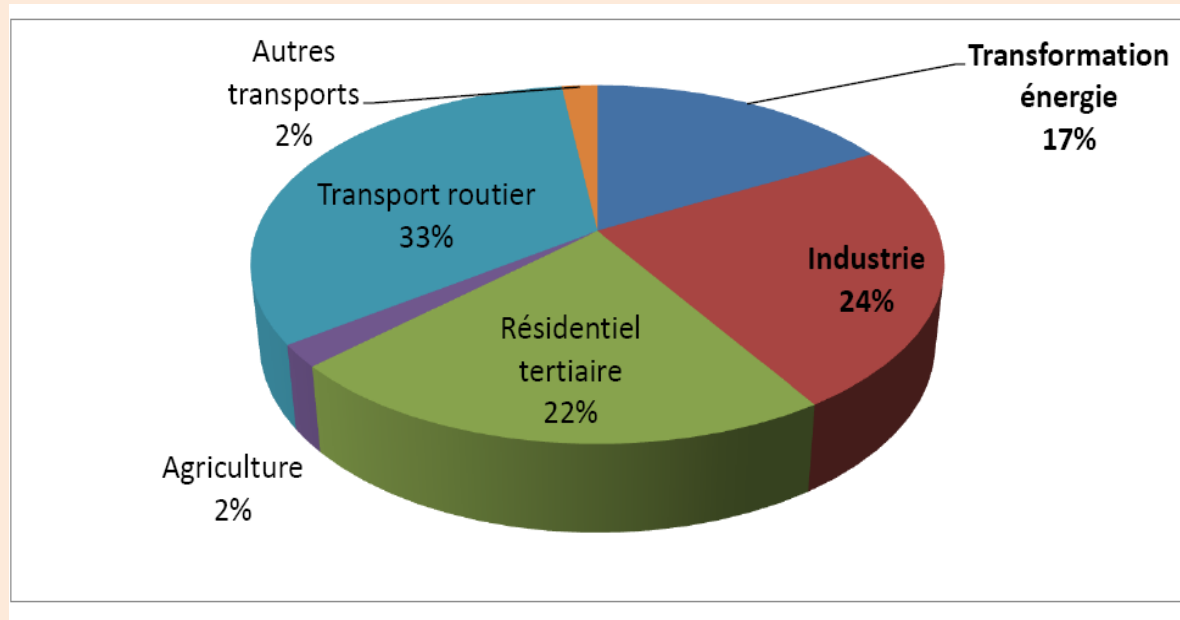
Majoritairement pour couvrir des besoins en chaleur.

ENJEUX ENERGETIQUES FRANCE



Consommation d'énergie par secteurs de l'industrie, 2009

ENJEUX CO2 FRANCE

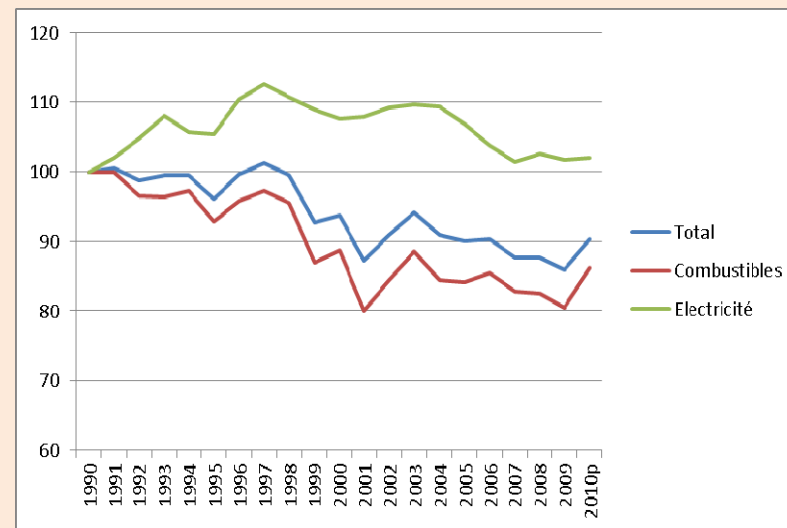
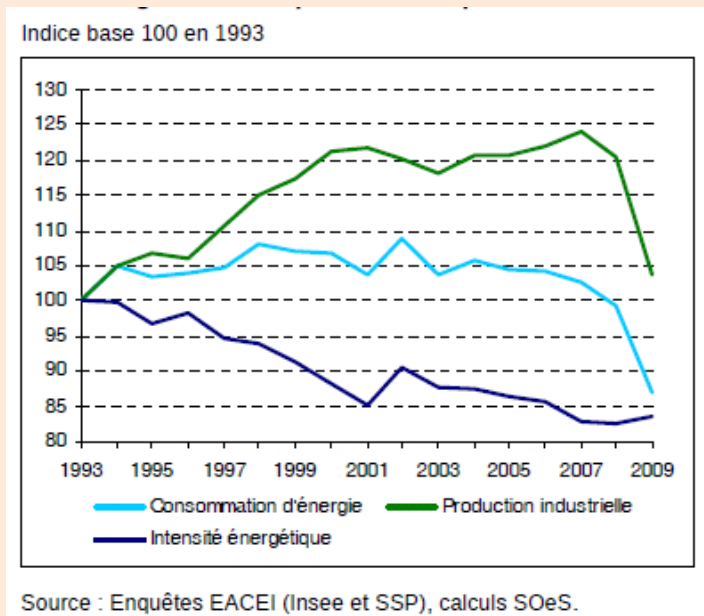


En France, le secteur industriel (incluant la production d'énergie) produit 40% des émissions de CO₂, soit 152 MT/an sur 380 MT global.

Ce taux est généralement plus élevé dans le monde, lié à des mix énergétiques électriques à base d'énergies fossiles.

INTENSITE ENERGETIQUE INDUSTRIE FRANCE

Les deux grands vecteurs énergétiques de l'industrie sont l'électricité et la chaleur.



Intensité énergétique dans l'industrie, France

Intensité énergétique: rapport de la consommation d'énergie à la valeur produite.

THERMODYNAMIQUE (très) ELEMENTAIRE

L'énergie mécanique peut être intégralement transformée en chaleur, mais une machine thermique produisant de l'énergie mécanique à partir d'une source chaude est limitée par la source froide et le rendement de Carnot: $R = 1 - T_f / T_c$ (T en °K)

Le rendement maximal n'est atteint que pour l'accumulation de transformations réversibles optimales, ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Exemple des centrales nucléaires à eau sous pression :

- Source chaude: 285°C (558°K)
- Source froide: 35°C (308°K)
- Rendement théorique maximal: 45%
- Rendement réel observé: 33%.

EXEMPLES DE CHAINES ENERGETIQUES

Production d'électricité

Type de centrale	Rendement	Remarque
Charbon	35 à 45%	Base ou semi base. - 10% si CSC
Cycle combiné gaz	55%	Base, TAG + cycle de Rankine 600°C
Turbine à gaz	35%	TAG utilisation en pointe.
Centrale nucléaire actuelle	33%	Point chaud vers 300°C
Hydraulique	90%	En base ou en pointe
Eolien	0 à 70%	59% max / vent
Solaire photovoltaïque	0 à 100%	10 à 20% max / soleil

Non compris: investissement énergétique de construction, énergie d'extraction, traitement, transports.

EXEMPLES DE CHAINES ENERGETIQUES

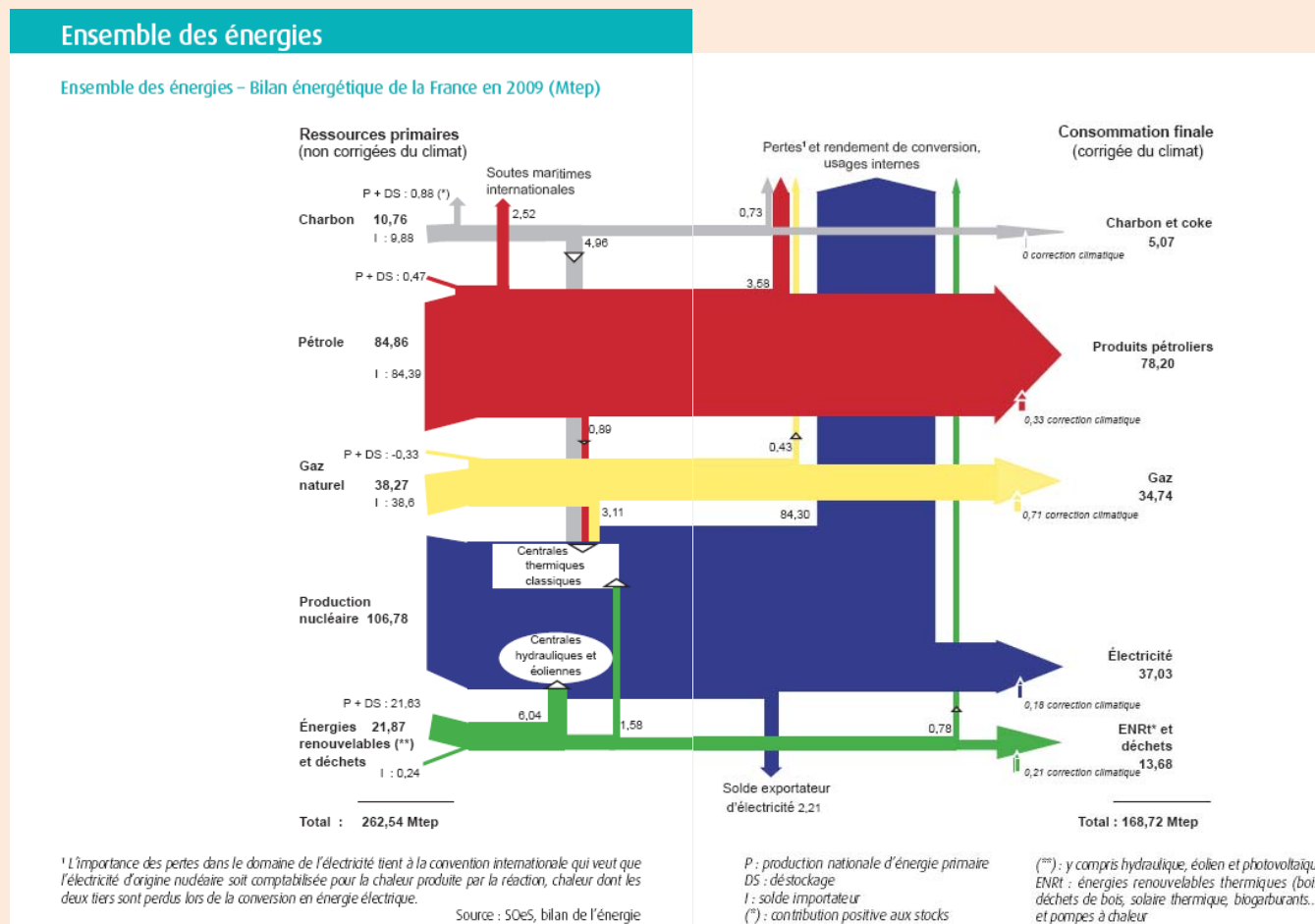
Automobile (*)

	Pétrole	Electricité thermique
Extraction / transport combustible	98 %	95 %
Conditionnement	90 % (raffinage)	40 % (centrale thermique)
Rendement réservoir	98 %	95% (transport) + 80 % (batterie)
Rendement motorisation 1	30 %	90 %
Rendement motorisation 2	15 %	50 %
TOTAL 1	26 %	26 %
TOTAL 2	13 %	15 %

Du puits à la roue, le rendement des motorisations diesel ou électrique à partir de centrales thermiques est très proche. La production de CO2 est supérieure pour un mix électrique 100% thermique par rapport au moteur à hydrocarbures.

***: sujet à variations, ordres de grandeurs**

BILAN ENERGIE FRANCE 2009



POURQUOI L'EFFICACITE ENERGETIQUE

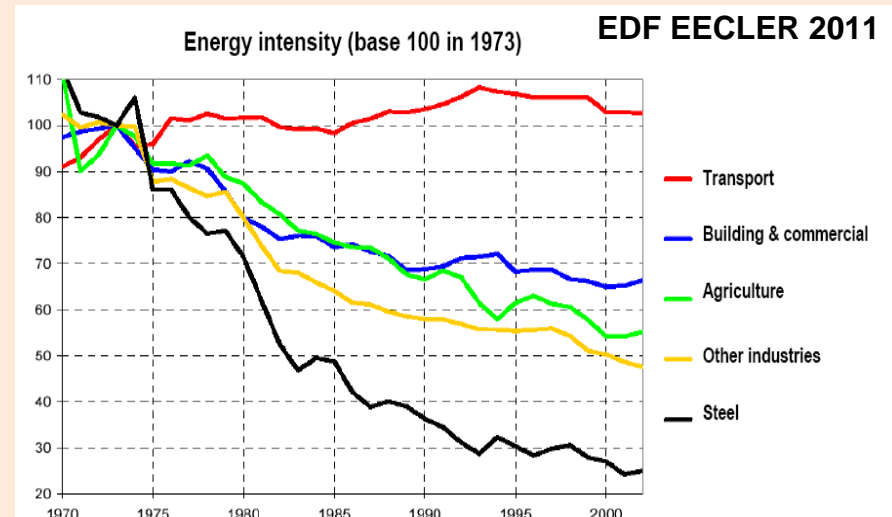
L'efficacité énergétique est un moyen efficace de réduire les coûts énergétiques, de limiter les importations et la dépendance aux pays fournisseurs, d'améliorer la compétitivité.

Hors l'Europe n'est pas partie pour atteindre son objectif de 20% de gain pour 2020.

C'est dans le bâtiment que se situe le gisement le plus important. Mais il se renouvelle très lentement et les coûts sont très importants.

L'industrie naturellement, pour des raisons de compétitivité, limite ses coûts énergétiques à court terme. Elle a été le bon élève jusqu'au milieu des années 2000, où les gains se sont infléchis, voire renversés (effet de crise et de baisse momentanée des coûts de l'énergie?).

Contrairement au bâtiment, où l'isolation thermique joue un rôle très important, l'industrie a besoin d'énergie et les gains n'y sont pas simples à réaliser.



EFFICACITE ENERGETIQUE INDUSTRIE

Difficultés:

- Les procédés où le coût de l'énergie est critique sont en général déjà largement optimisés énergétiquement, gains potentiels limités
- Durée de vie des installations très longue, coûts d'investissement élevés, retour sur investissement longs; le premier investissement fixe le système pour longtemps;
- Compétition internationale

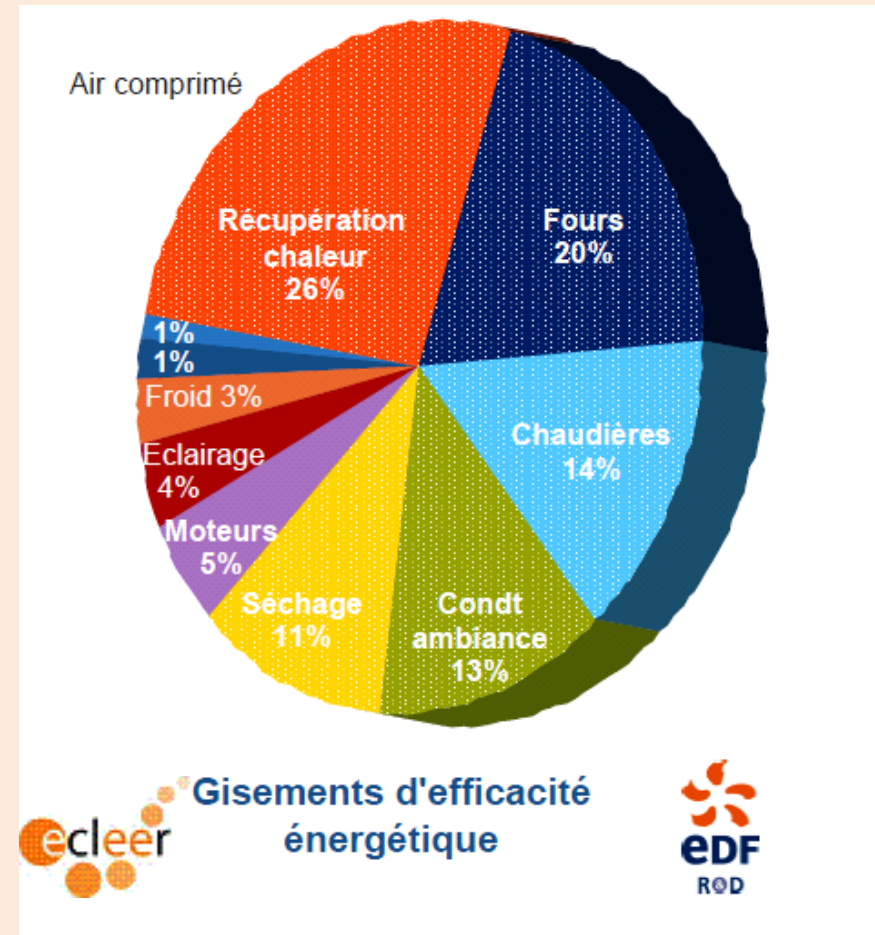
Mais les solutions restent possibles (données Ancre) :

- Les rattrapages technologiques (mise à niveau des procédés par intégration de composants up to date) → Court terme (3 à 5 ans) – Gain EE \approx 5 %
- Les ruptures technologiques : Revisiter le procédé, l'usine, le territoire → Moyen et long terme (10 à 30 ans) – Gain EE > 20%

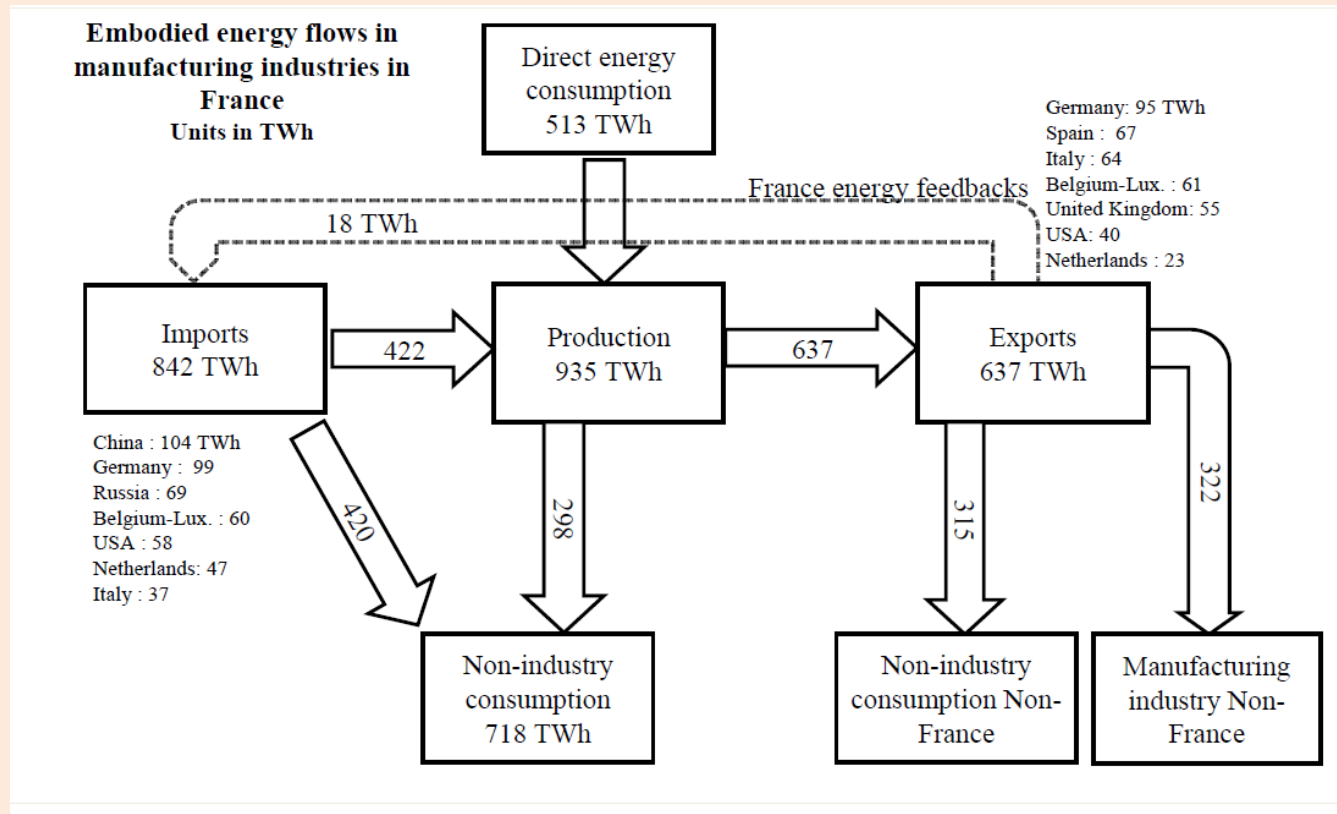
POTENTIEL INDUSTRIE

**Potentiel technique de
récupération d'énergie dans
l'industrie**
(source EDF Ecleer)
**85% de ce potentiel l'est
sous forme de chaleur.**

**18 à 26% de gains
potentiels en utilisant les
meilleures technologies et
une gestion optimisée.**



FLUX ENERGETIQUES FRANCE



Attention aux reports d'énergies ou de pollutions, les opérations doivent être remplacées globalement.

EFFICACITE ENERGETIQUE

Axes de R&D

Outils méthodologiques

Efficacité énergétique des composants

Efficacité des chaînes énergétiques

La chaleur

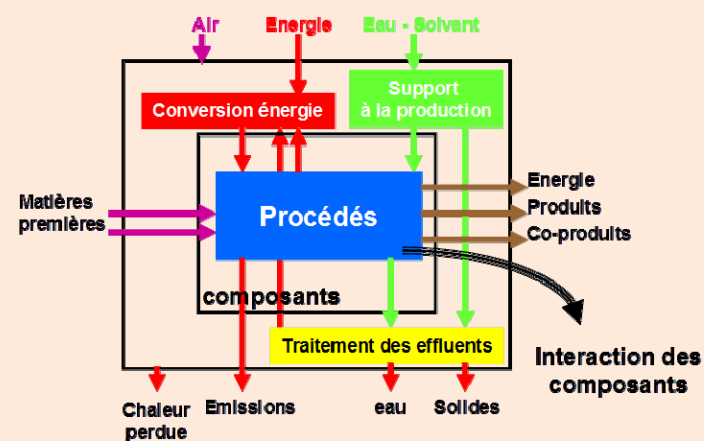
Le stockage d'énergie

OUTILS METHODOLOGIQUES

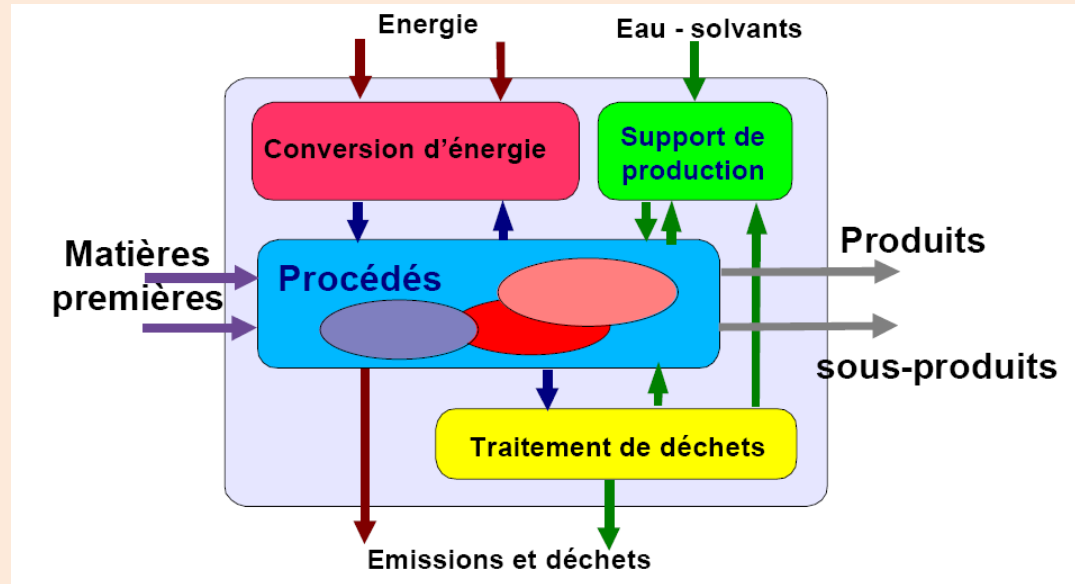
Développements d'outils méthodologiques et logiciels

Evaluation des gisements valorisables dans l'industrie

Optimisation, conduite et contrôle des systèmes.



INTEGRATION ENERGETIQUE



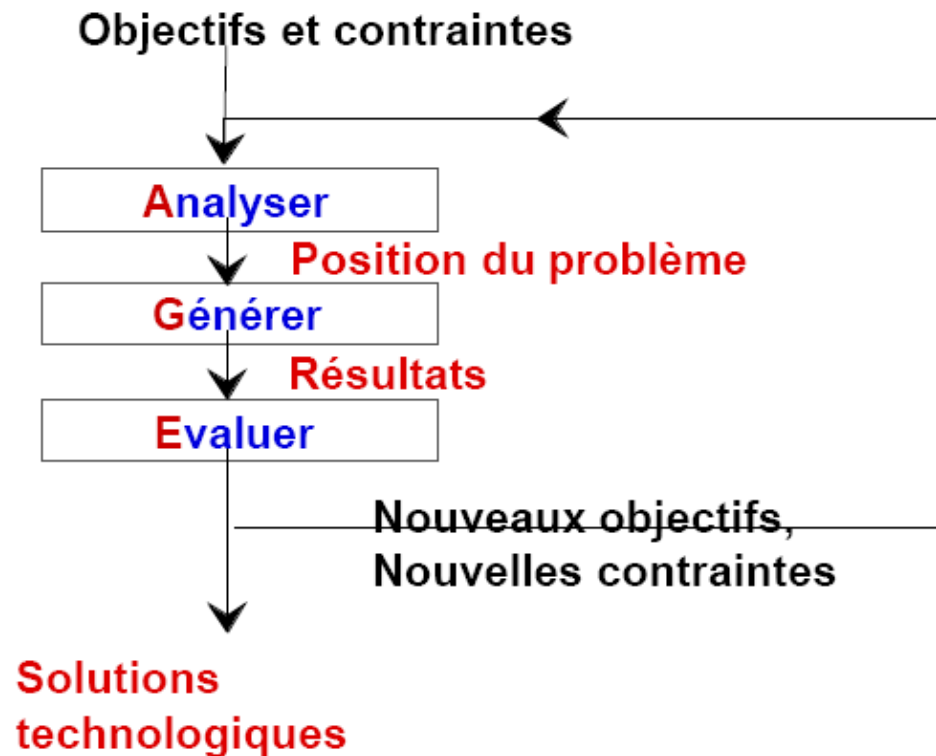
Objectif: maximiser les flux horizontaux –
minimiser les flux verticaux

- ◆ Rendement
- ◆ Coût opératoire
 - ◆ Matières
 - ◆ Main d'oeuvre
 - ◆ Energie
 - ◆ Environnement
- ◆ Investissements
 - ◆ Disponibilités
 - ◆ Contexte
- ◆ Système industriel
- ◆ Opérabilité
- ◆ Sécurité
- ◆ Topologie
- ◆ Socio-économie

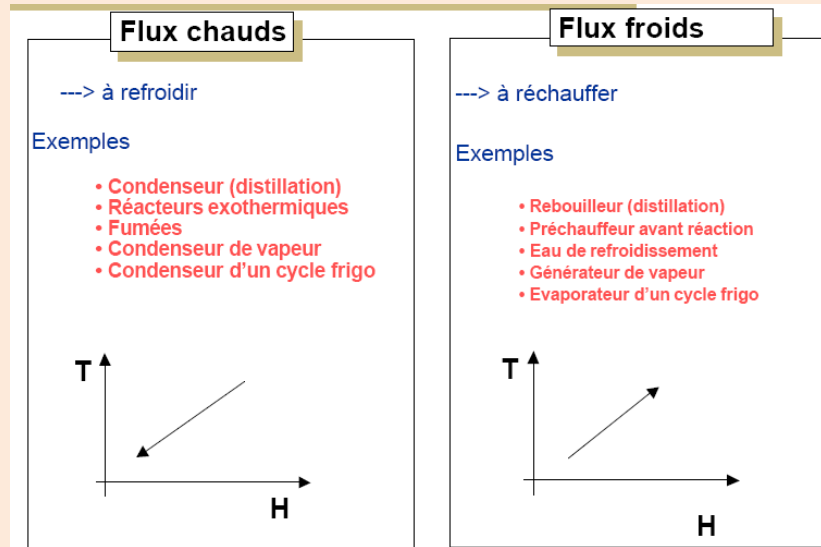
En tenant compte de
l'ensemble des contraintes...

METHODOLOGIE

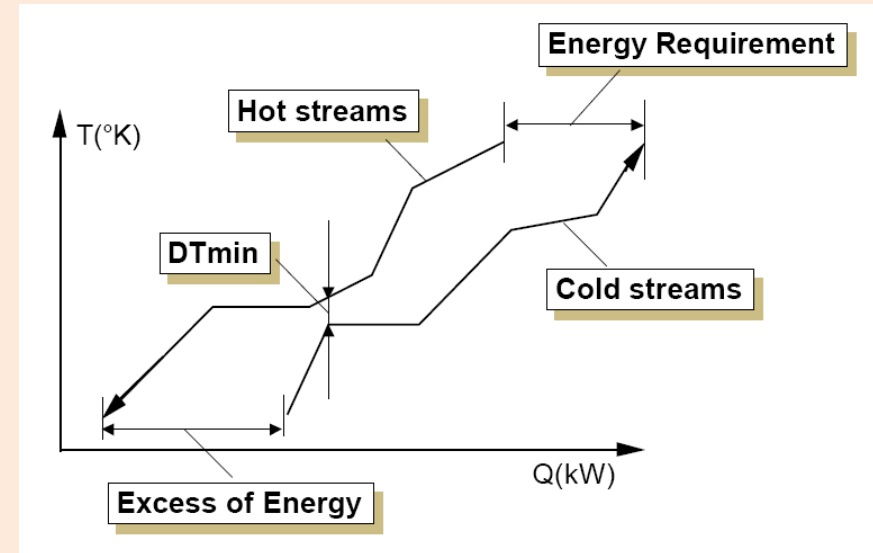
“Proposer des solutions qui satisfont les objectifs et les contraintes”



METHODOLOGIE

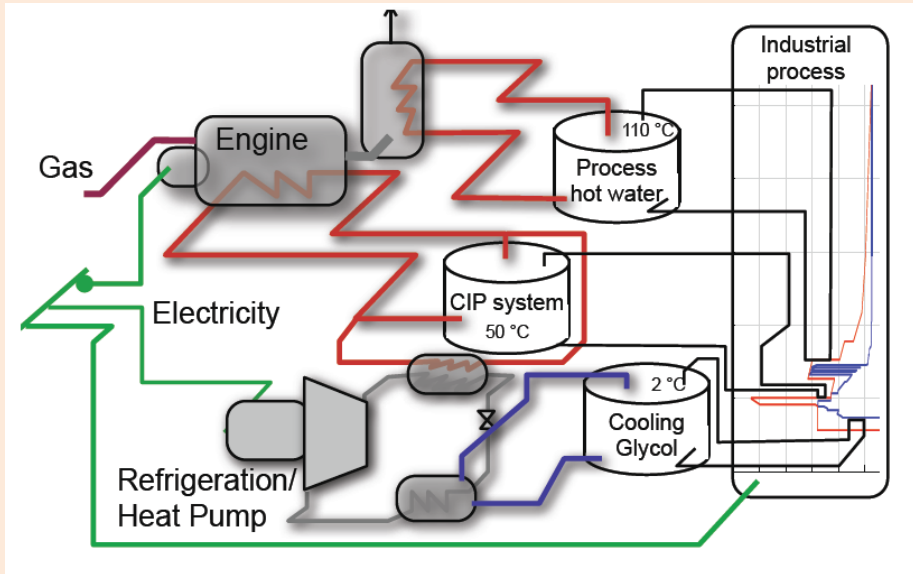


Identification des flux de chaleur

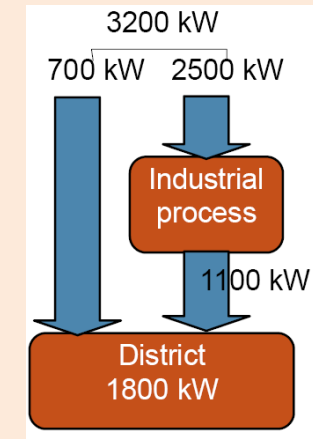
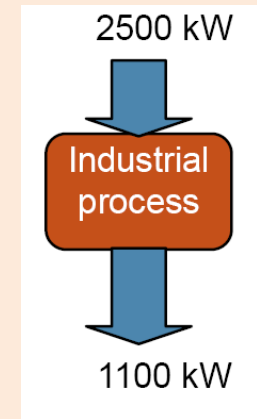


Proposition de solution par méthode du pincement

RESULTATS



Ingénierie complète d'un système,
incluant son contrôle commande



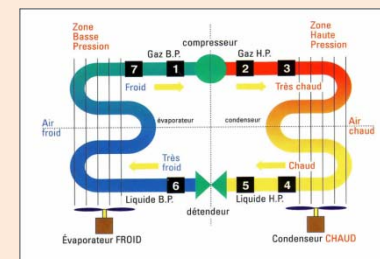
Replacées dans un contexte global,
les solutions peuvent être différentes.

EFFICACITE ENERGETIQUE DES COMPOSANTS

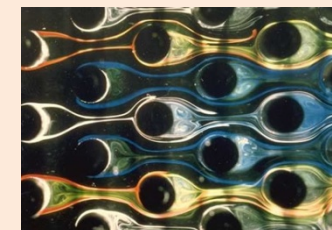
Equipements électriques et de production de l'électricité: éclairage, moteurs, moteurs Stirling, cogénération, électronique, induction...



Equipements pour le bâtiment, notamment adaptation à la climatisation des bâtiments basse consommation, pompes à chaleur, micro turbine, développement des sources renouvelables, pilotage et optimisation...



Equipements des chaines thermiques de l'industrie, fours, sécheurs, échangeurs, production de froid, **en insistant sur l'innovation...**



COMPOSANTS POUR L'ENERGIE (Données CNRS)

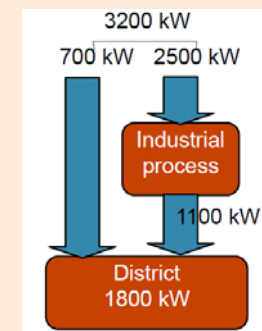
Conversions énergétiques	Électricité	Chaleur	Froid	Lumière	Mécanique	Chimique
Électricité	<ul style="list-style-type: none"> Transformateurs Convertisseurs statiques Stockage électromagnétique 	<ul style="list-style-type: none"> Chauffage résistif, à induction Micro-ondes Stockage thermique Pompes à chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> Réfrigération dont Peltier, magnétique Air conditionné Stockage par chaleur latente 	<ul style="list-style-type: none"> Éclairage à incandescence, fluorescence, LEDS Lasers 	<ul style="list-style-type: none"> Actionneurs et moteurs électriques Stockage inertiel 	Stockage électrochimique
Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> Composants thermoélectriques Moteurs à apport de chaleur externe (Stirling, Ericsson) Déstockage thermique 	<ul style="list-style-type: none"> Échangeurs dont géothermie Stockage par chaleur sensible ou latente HT 	Échangeurs chaud-froid		<ul style="list-style-type: none"> Moteurs à apport de chaleur externe (Stirling, Ericsson) 	<ul style="list-style-type: none"> Échangeurs multifonctionnels Stockage thermochimique
Froid		<ul style="list-style-type: none"> Pompes à chaleur Échangeurs froid-chaud 	Échangeurs			Stockage thermochimique
Lumière	<ul style="list-style-type: none"> Génération photovoltaïque Centrales solaires 	Génération de chaleur solaire	Génération de froid solaire			Composants filière photochimique (photolyse de l'eau,
Mécanique	<ul style="list-style-type: none"> Générateurs électriques dont dispositifs de Co-génération 		<ul style="list-style-type: none"> Réfrigération par tube de Ranque Dispositifs de tri-génération 		Convertisseurs mécaniques	
Chimique	Déstockage électrochimique	Stockage thermochimique	Stockage thermochimique		Moteurs à explosions, turbines	

EFFICACITE DES CHAINES ENERGETIQUES

Amélioration des procédés à forte consommation, électrification, en justifiant les améliorations (énergie, rejet de CO2 et de polluants, consommation d'eau), maîtrise de l'encrassement



Couplage de chaînes énergétiques, permettant d'obtenir des gains globaux, cascades énergétiques, pilotage, adaptation aux variations de fourniture énergétiques renouvelables, cogénération, efficacité générale prenant en compte les transports...



Amélioration de l'efficacité des chaînes énergétiques renouvelables.

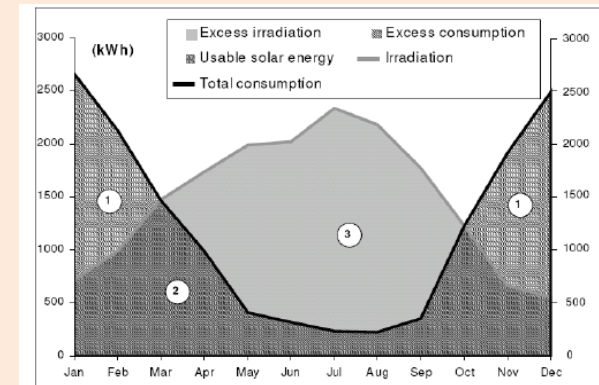


CHALEUR DANS L'INDUSTRIE

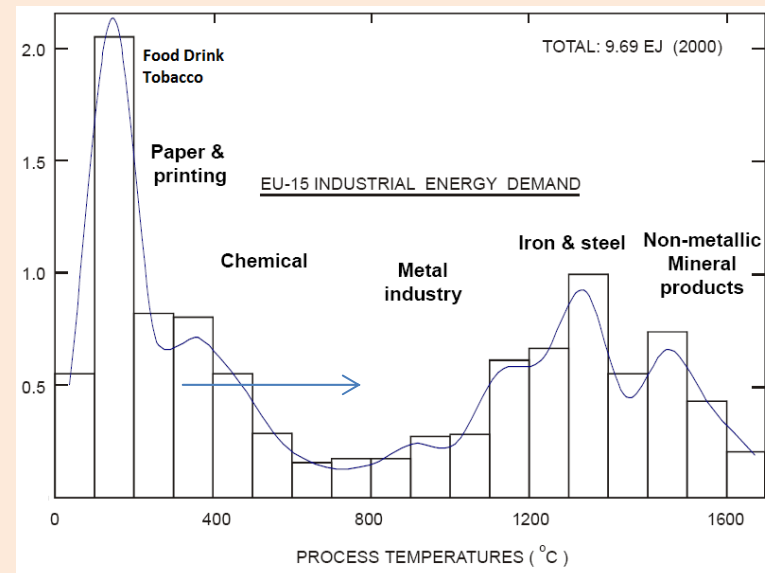


75% de l'énergie perdue dans les processus industriels l'est sous forme de chaleur bas niveau.

C'est aussi une ressource renouvelable en décalage par rapport au besoin.



Besoins en chaleur industrielle UE 15



VALORISATION DE LA CHALEUR

Valorisation de la chaleur:

Transport de chaleur

Cogénération mais transport de la chaleur très coûteux et nécessité de concordance offre demande.

Valorisation par pompe à chaleur ou sous forme d'électricité.

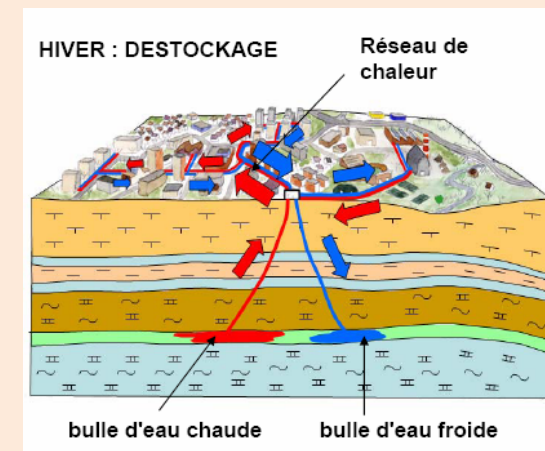
Transport après transformation thermo-chimique



Stockage de la chaleur:

Maillon très important de l'efficacité énergétique des chaînes thermodynamiques, notamment renouvelables.

Par chaleur sensible, matériaux à changement de phase, sorption, thermo-chimie...



Exemples de projets de recherche

Projets français (programmes ANR EESI et SEED) :

- Chemins Energétiques pour la Récupération d'Energie dans les Systèmes Industriels
- Combiner optimisation des procédés, récupération énergétique et analyse exergétique pour une meilleure efficacité énergétique des sites industriels
- Acier Sans CO2 Par Electrolyse
- Développement d'une pompe à chaleur à eau fonctionnant entre 90 et 130 °C utilisant un compresseur à vis ou un compresseur centrifuge à paliers magnétiques
- Chaînes de mesures Innovantes à bas coût pour maîtriser et pérenniser l'efficacité énergétique dans l'industrie

Exemples de projets de recherche

Projets français (programmes ANR EESI et SEED) :

- Procédé pour le Stockage Solaire Intersaisonnier.
- Dessalement d'eau de mer par MED utilisant une source solaire à basse température
- Démonstration de la faisabilité technique et économique d'une boucle de stockage/déstockage d'électricité renouvelable sur méthane de synthèse au moyen d'un électrolyseur à haute température réversible
- Etudes théoriques et expérimentales d'un système tritherme intégrant une compression thermique originale du fluide de travail, destiné au marché résidentiel
- Commande avancée des systèmes de réfrigération à faible inertie

Exemples de projets de recherche

Projets européens:

- Develop of a new and highly effective modeling and monitoring Energy Management System technique in order to improve Energy Efficiency and move to a low CO2 emission in the energy intensive non-metallic mineral industry.
- Novel climatic chamber with an Innovative, energy-saving Nano-Aerosol Humidification System for the manufacture of high quality Bakery products.
- Modular IGCC Concepts for In-Refinery Energy and Hydrogen Supply
- A cost-effective and energy-saving cooling system to allow a high quality preservation of fresh and frozen food stuff during transportation

MERCI DE VOTRE ATTENTION