Alternatives au Nucléaire

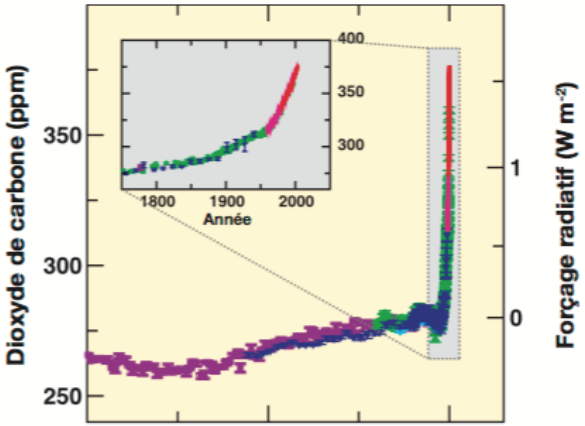
Michel Frémont

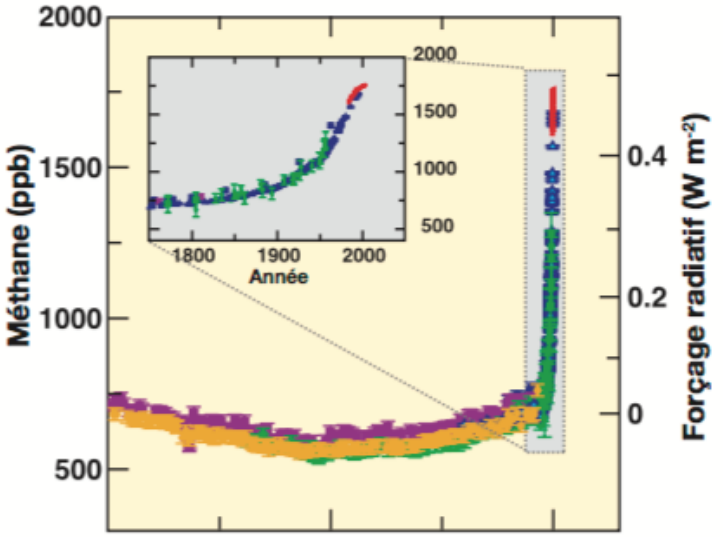
Directeur – SCIC IDEE – Bureau d'études en coopérative
IDEE – Initiatives pour le Développement de l'Efficacité Energétique
www.scic-idee.fr

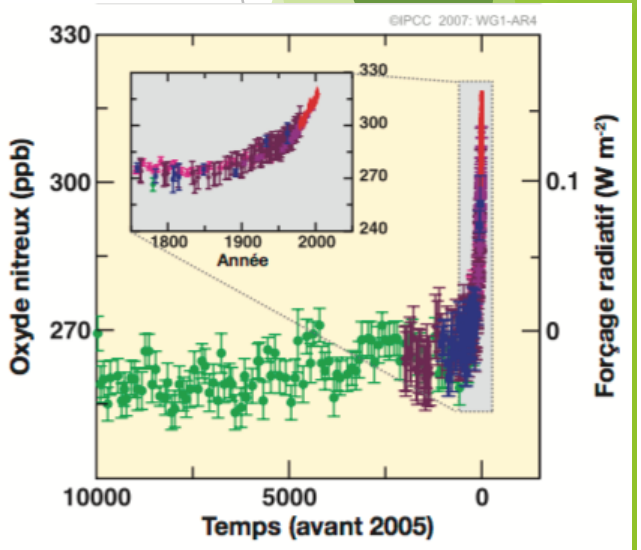
Un courant alternatif ?

Contexte –
Dé-réglement climatique ?

ÉVOLUTION DES GAZ À EFFET DE SERRE TIRÉE DE DONNÉES OBTENUES À PARTIR DES CAROTTES DE GLACE ET DE MESURES RÉCENTES

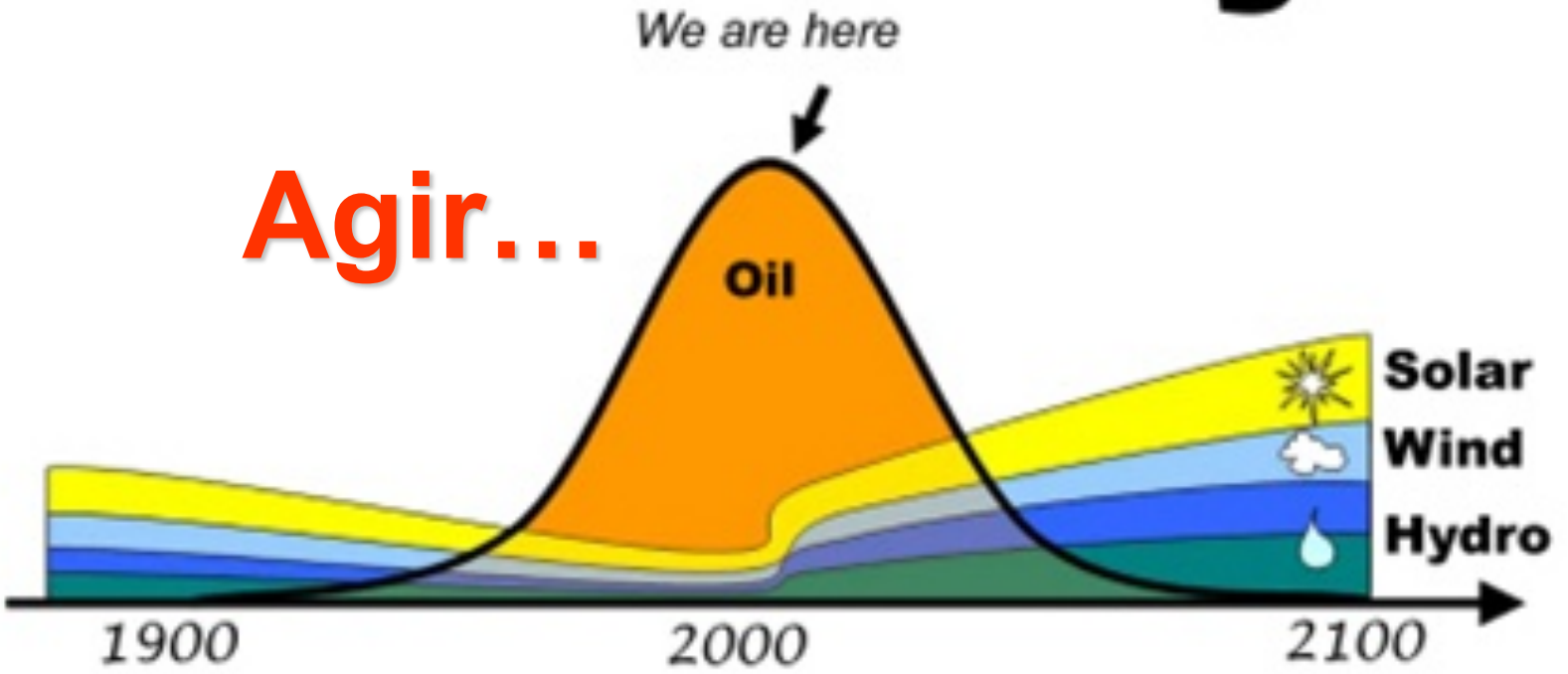






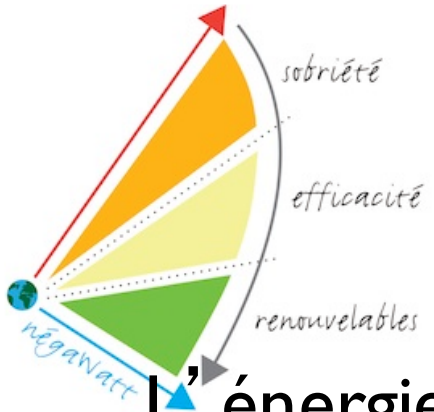
GIEC – Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

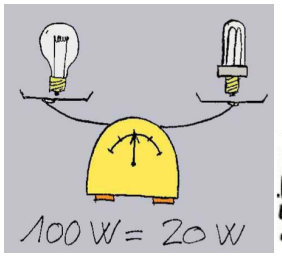
Get ready

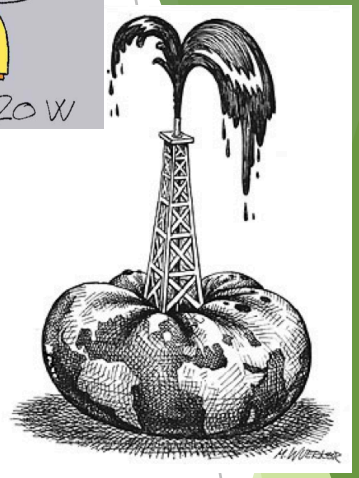


Agir…

for a low energy world





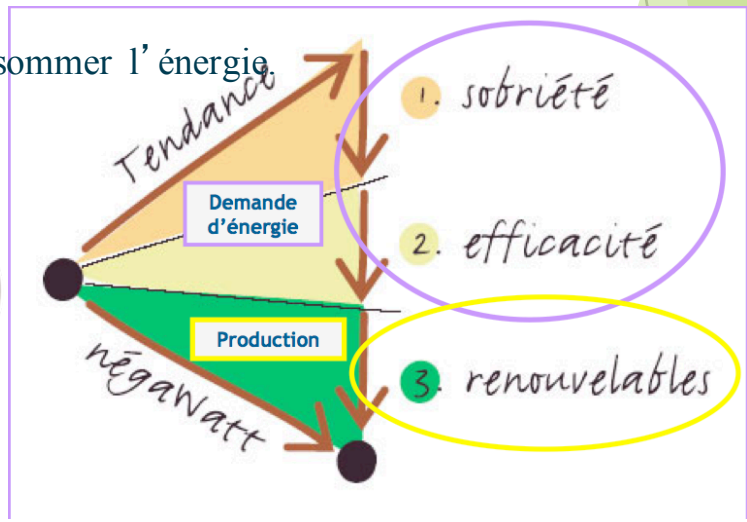


L'énergie la moins chère est celle

n ne consomme pas !

Les 2 premières marches de la réflexion sur la transition énergétique passe par la sobriété et l'efficacité énergétique.

On doit changer de regard sur nos façons de consommer l'énergie.



Sobriété énergétique

– Exemple: Les veilles électriques

▶*Les fabricants vendent encore aujourd'hui du matériel équipé de veilles.*

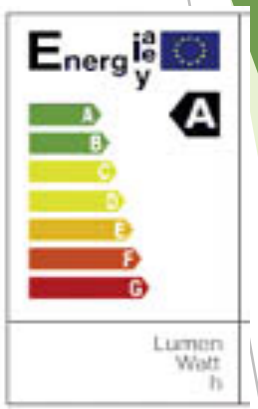
Appareils	*Puissance en veille*	*Durée de la veille*	*Consommation*
Télévision	*8 à 13W*	*18h/jour*	*52 à 85 kWh/an*
Box Internet	*15 à 22W*	*24h/jour*	*131 à 192kWh/an*
Amplificateur TV	*1 à 2W*	*18h/jour*	*6 à 13kWh/an*
Décodeur Canal+	*10 à 14W*	*22h/jour*	*80 à 112kWh/an*
Démodulateur	*14 à 15W*	*18h/jour*	*92 à 98kWh/an*
Chaîne Hi Fi	*0 à 21W*	*23h/jour*	*0 à 176kWh/an*
		Total	*361 à 676kWh/an*

Ménages Français en 2005 (Insee) : 25,69 M soit un total de 9, 27 TWh à 17, 36 TWh de consommation en veille soit la production d' une à 2 tranches nucléaires

Pour un foyer de 4 personnes n' utilisant sa télévision **qu' 1 à 2h/jour,** la consommation en veille de l' appareil à l' année est **supérieure** à la consommation en marche de l' appareil.

L'éclairage

- *Il représente **15 %** du budget de la dépense d'électricité du ménage et occupe le deuxième poste de consommation d'électricité spécifique après les équipements de froid.*
- *La consommation d'électricité pour l'éclairage d'un logement avec ampoules classiques est en moyenne de **470 kWh/an** par logement.*
- *Pour un logement équipe de lampes basses consommation, elle est de **210kWh/an**.*
- *Actions fortes sur l'éclairage public à entreprendre.*



	Lampe à incandes-cence	Lampe halogène	Néon	Basse conso	LED
Puissance	75W	60W	15 W	15W	1 ou 2 W
Efficacité/énergie	13 lumen/W	14 lumen/W	63 lumen/W	60lumen/W	100lumen/W
Durée de vie	1 000 h	2 000 h	9 000 h	10 000 h	100 000h

Il y a des TGV dans nos réfrigérateurs !

Aujourd'hui ...

9 TWh/an

18 TWh/an

27 TWh/an

Demain

... nous pouvons doubler le trafic ferroviaire sans augmenter notre production d'énergie !

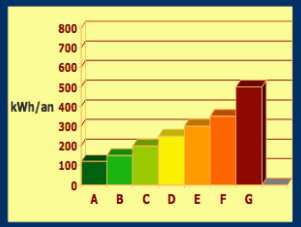
9 +9 soit 18 TWh/an

9 TWh/an

27 TWh/an

Demain ?

Si nous divisons par 2 la consommation des frigos ...

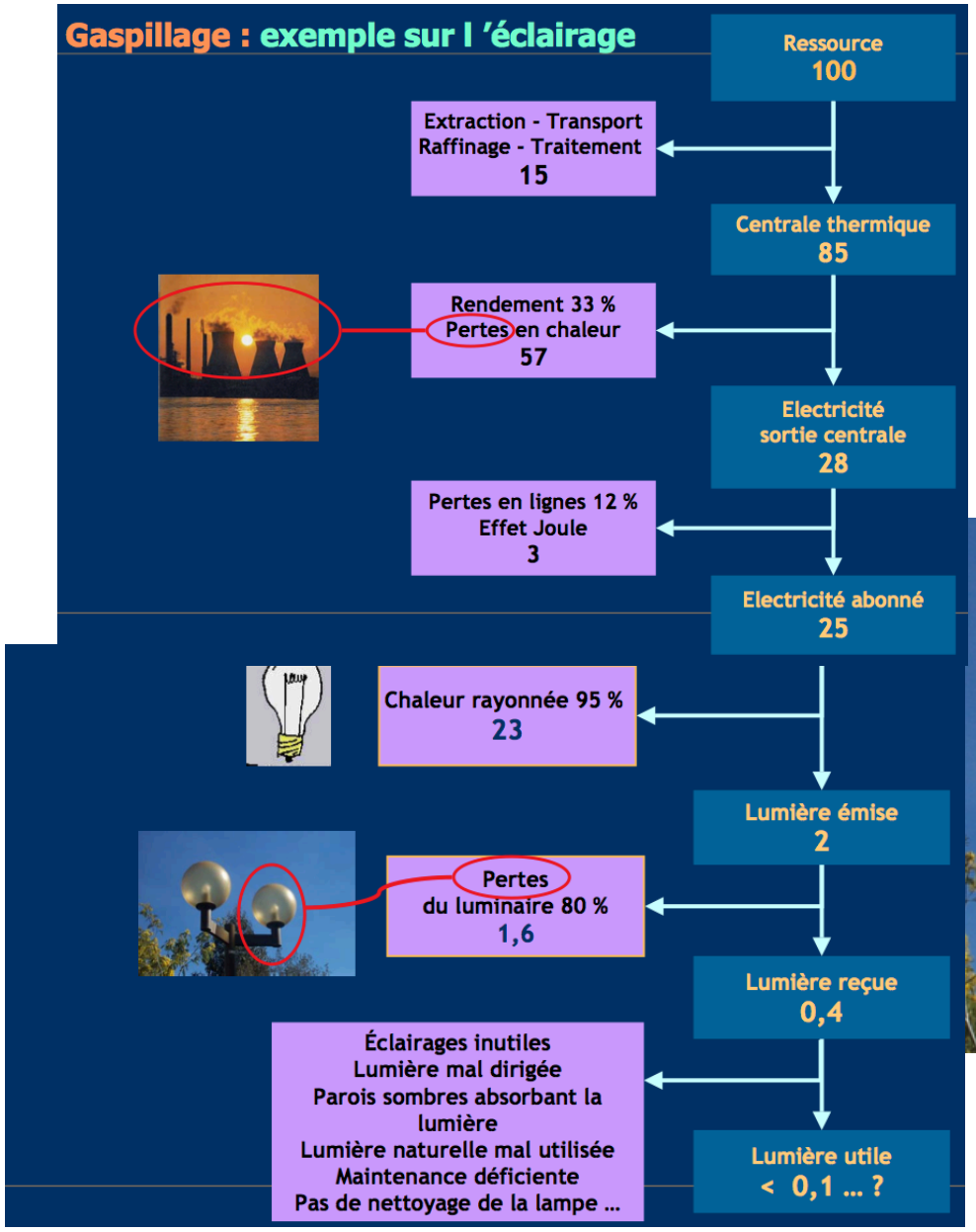


18 TWh/an

9 TWh/an

soit la "production" de 9 *néga*TWh/an

Et la lumière vaine ?



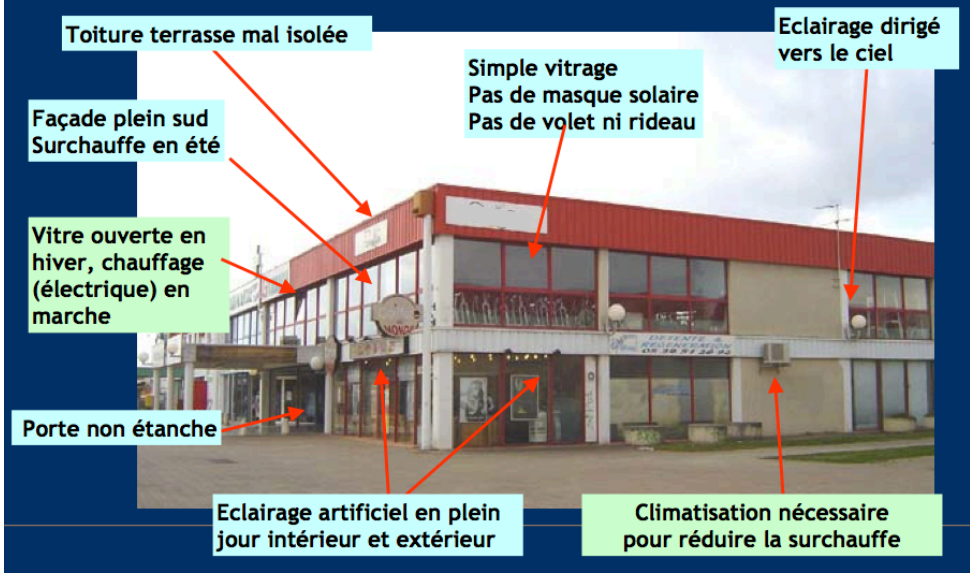
Gaspillage ...

Une conception anti-climatique

14 h
d'ensoleillement
en été ...

Gaspillage ...

Des bâtiments inutilement énergivores



Exemple: Le bâtivore

Rappel:

Le passage de la RT 2005 à la RT 2012 permet d'économiser:

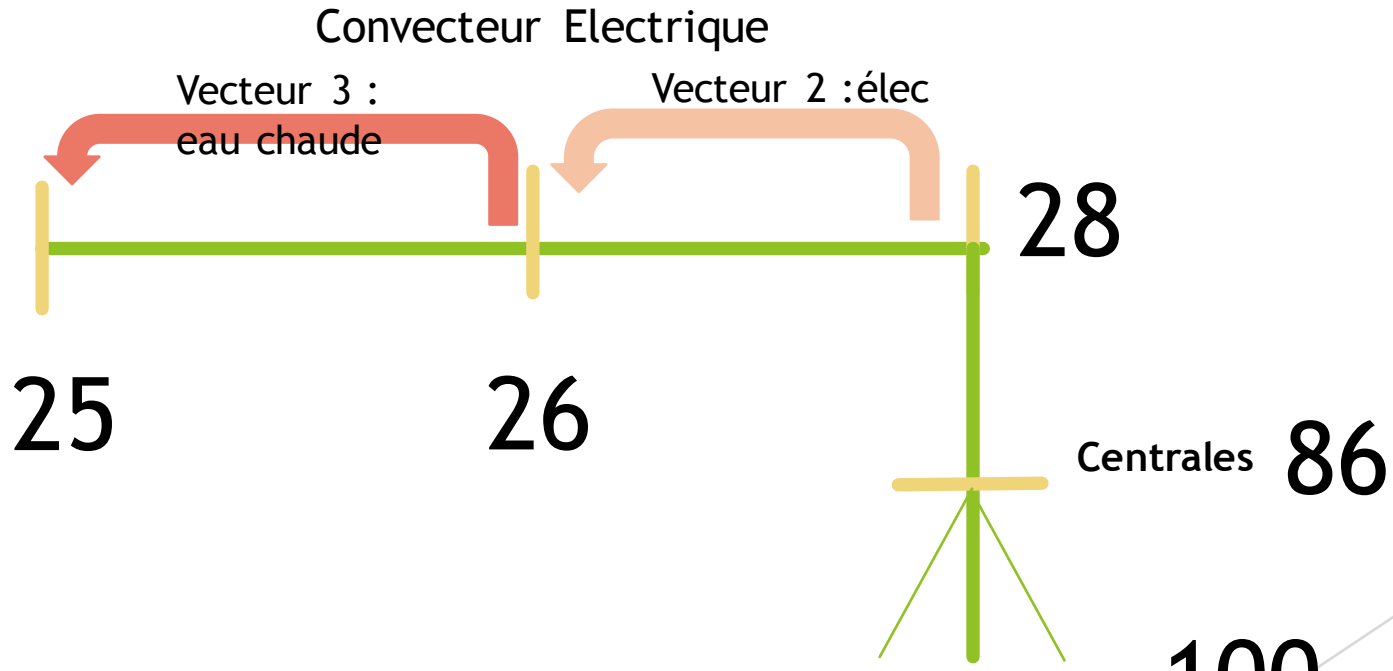
-150 TWhEP soit 70 % de moins
- entre 13 et 35 Gt de CO2 soit 70 %moins

Contexte – Dé-réglement climatique ?

Quel impact pour le Cotentin ?
Pour la ville de Caen ?

Usage de l’énergie - généralités

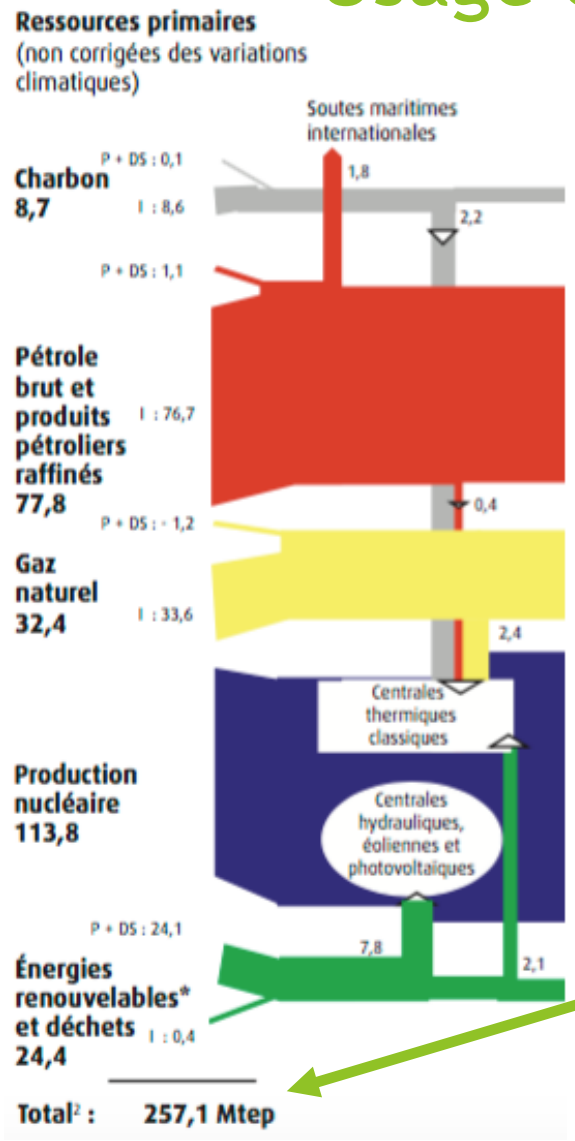
Chauffage d’une maison à l’électricité
Quel est le besoin ? Quel est le service énergétique ?



3/4 d’énergie primaire Perdue –

Analyse ? Conclusion ?

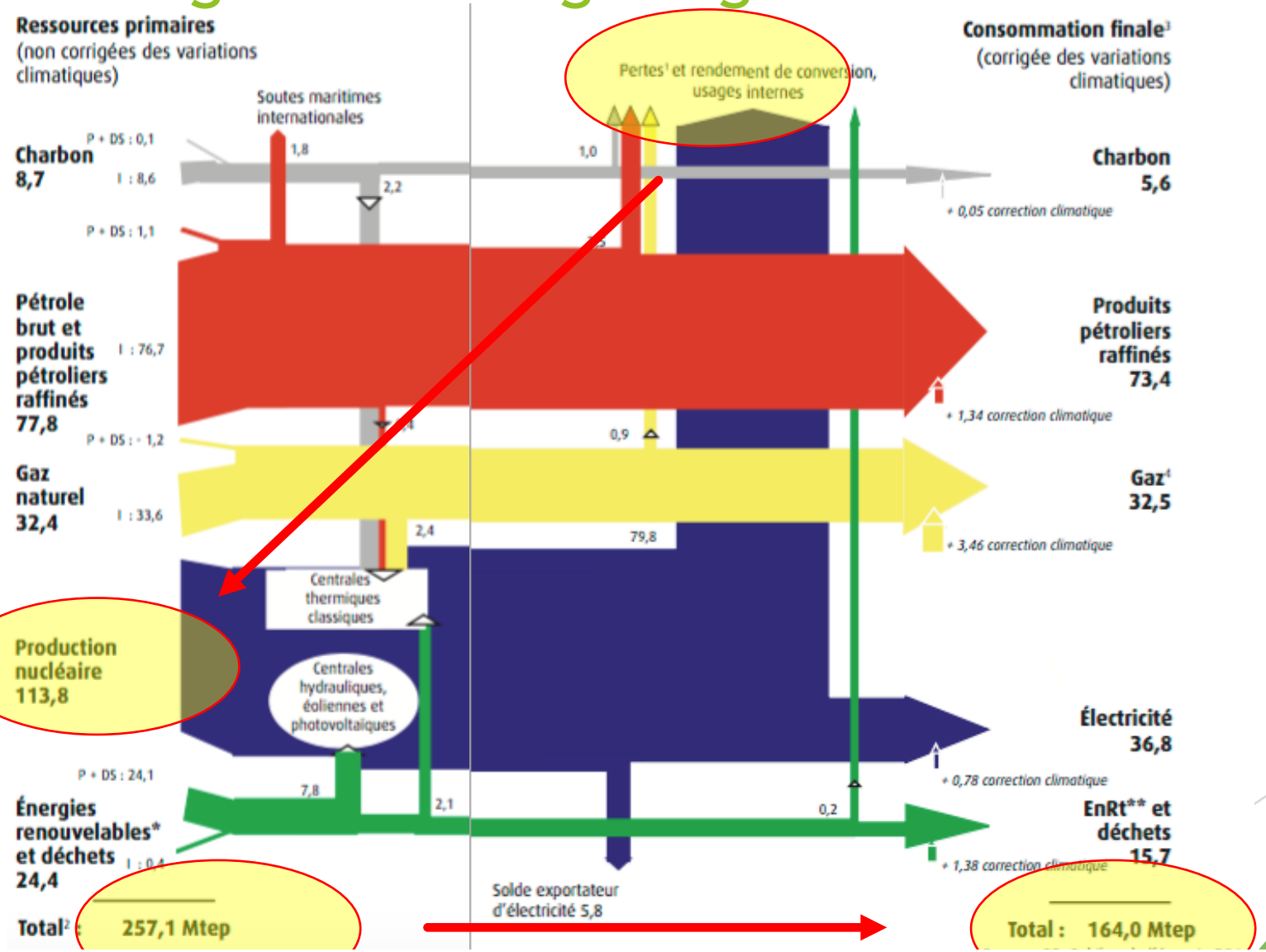
Usage de l'énergie - généralités



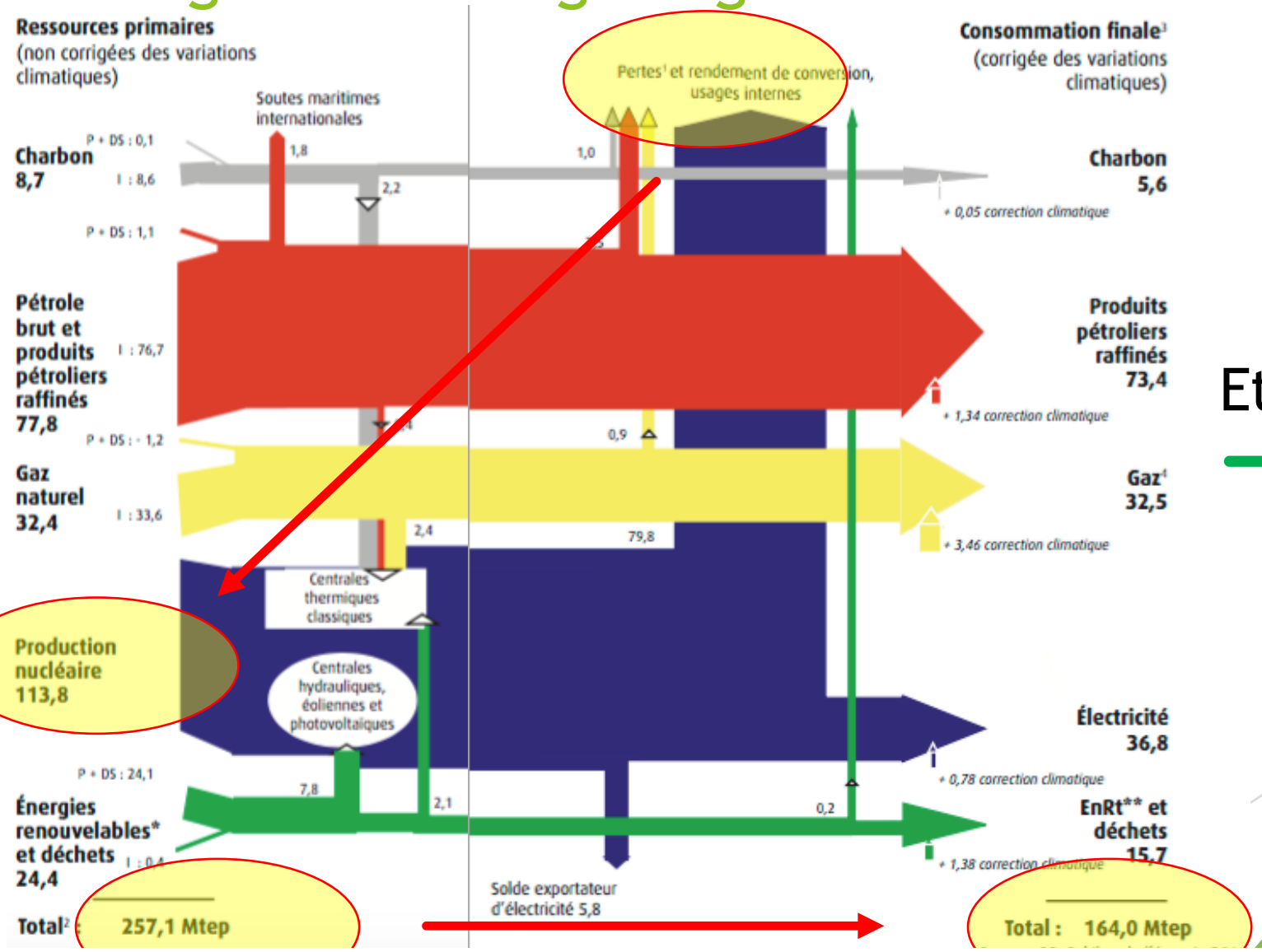
Energie Primaire ?

Quelle quantité d'énergie finale reste t il ?

Usage de l'énergie - généralités

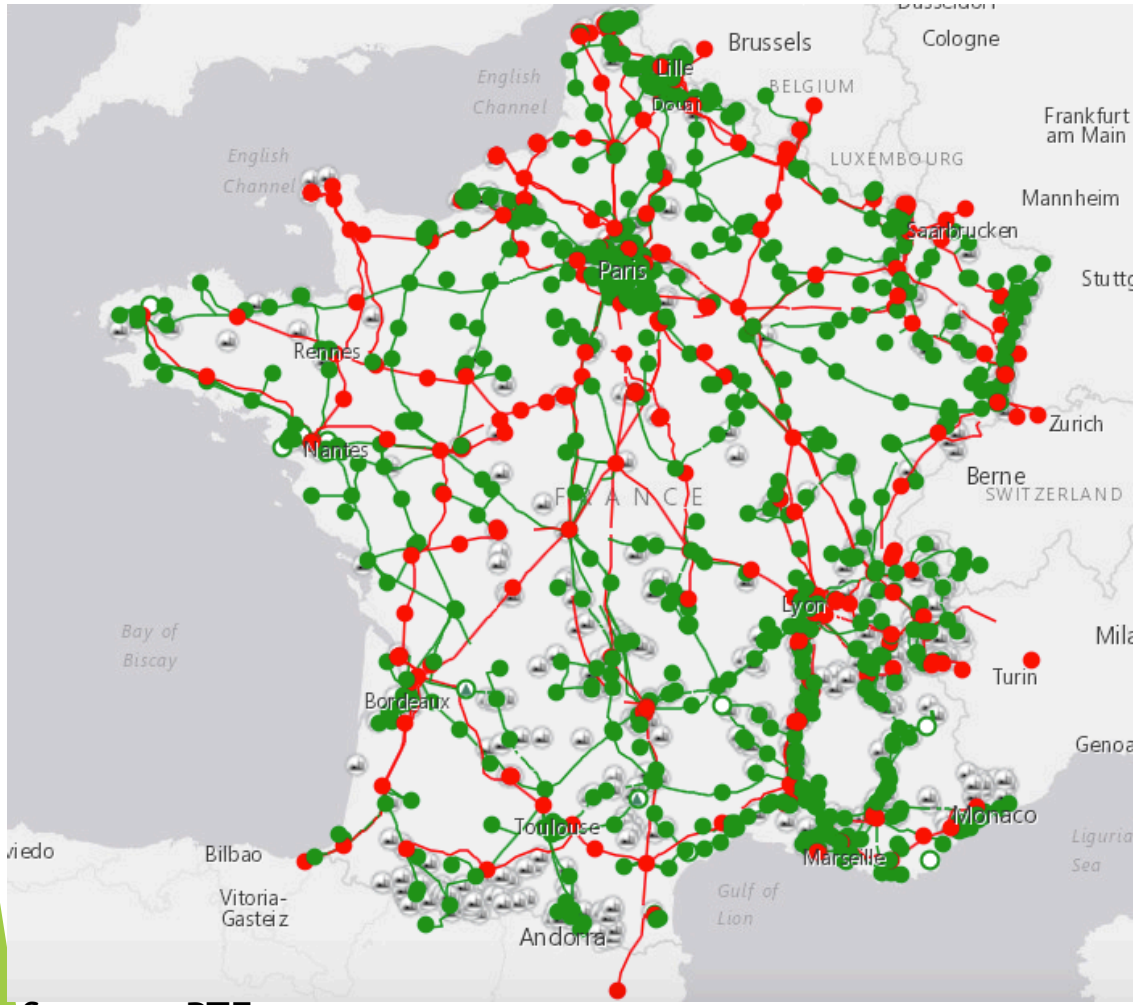


Usage de l'énergie - généralités



Et après ?

Système de production Français



Source : RTE

Nucléaire : 58 tranches sur 19 sites

Charbon : 4 centrales

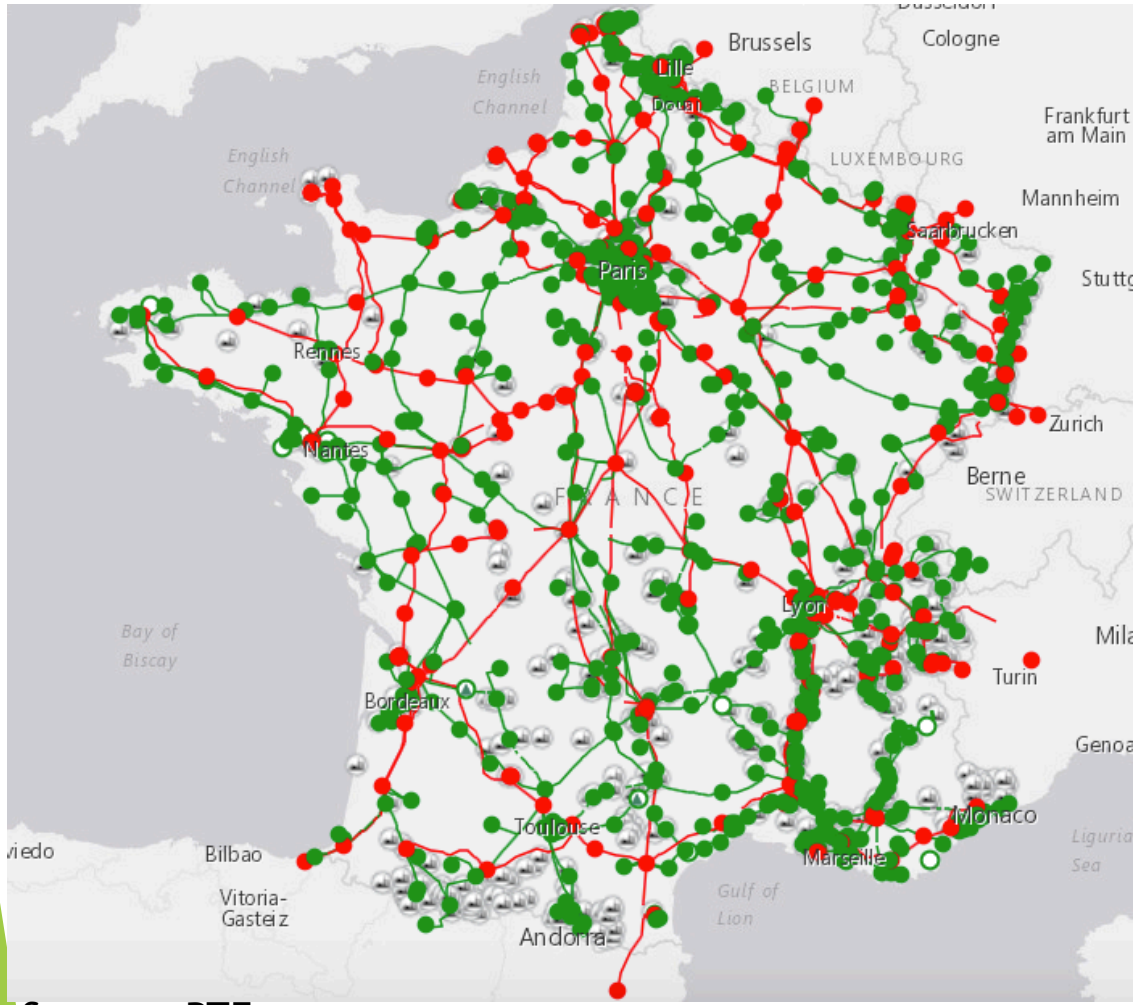
Fioul Vapeur : 4 centrales

Turbine à combustion : 6

Cycles combinés Gaz : 10

Rapport au Parlement Programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité Période 2009 - 2020

Système de production Français



Source : RTE

EnR

Eolien : terre et mer
Photovoltaïque
Thermique
Petite Hydroélectricité
Géothermie
Pompe à Chaleur
Biogaz
Biocarburant
Dechets Urbains Renouvelables
Biomasse Solide
Solaire Thermodynamique
Energie Océanique
…

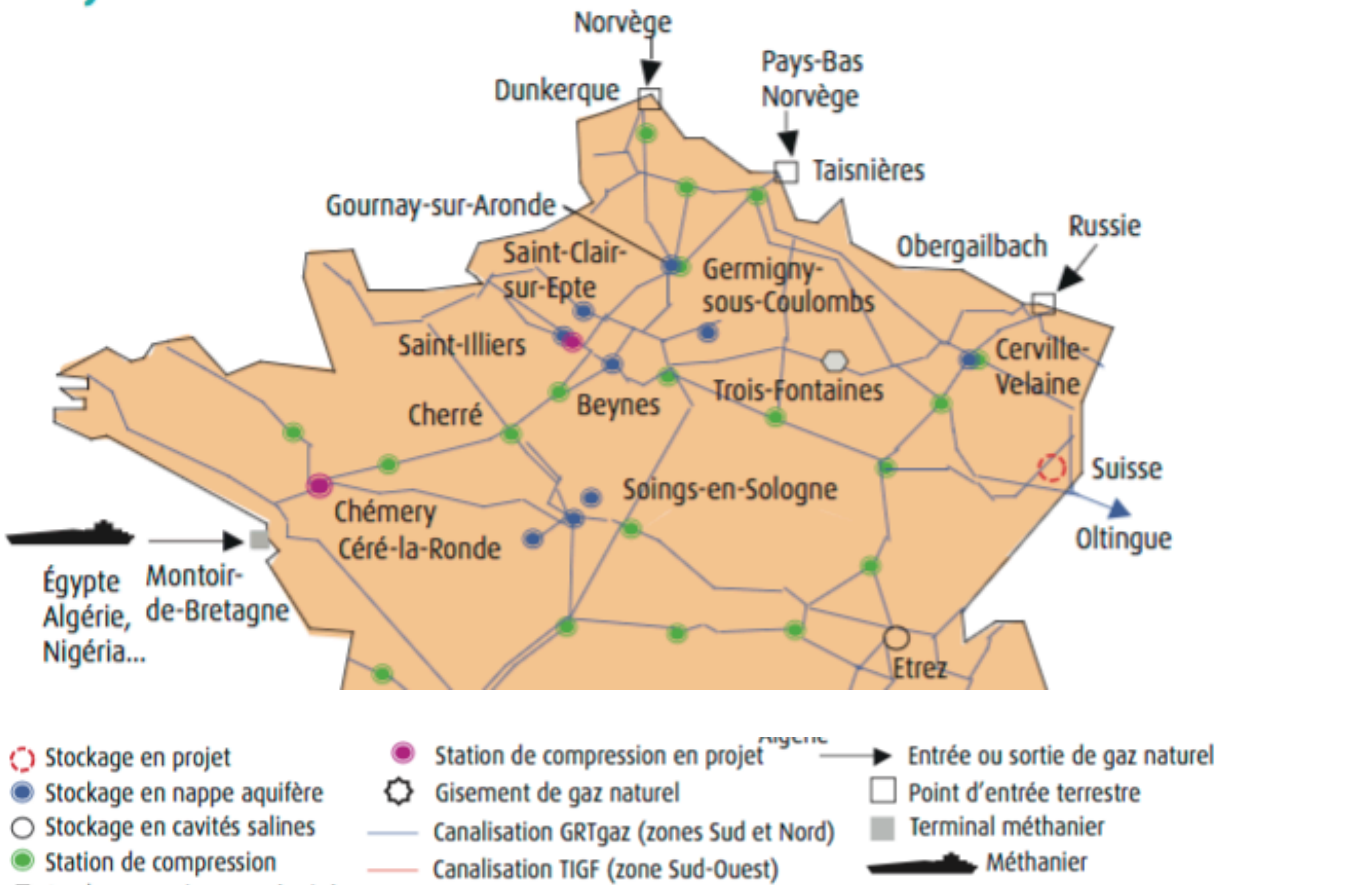
En Normandie … Charbon

Les centrales thermiques au charbon en France

Situation au 30 juin 2015

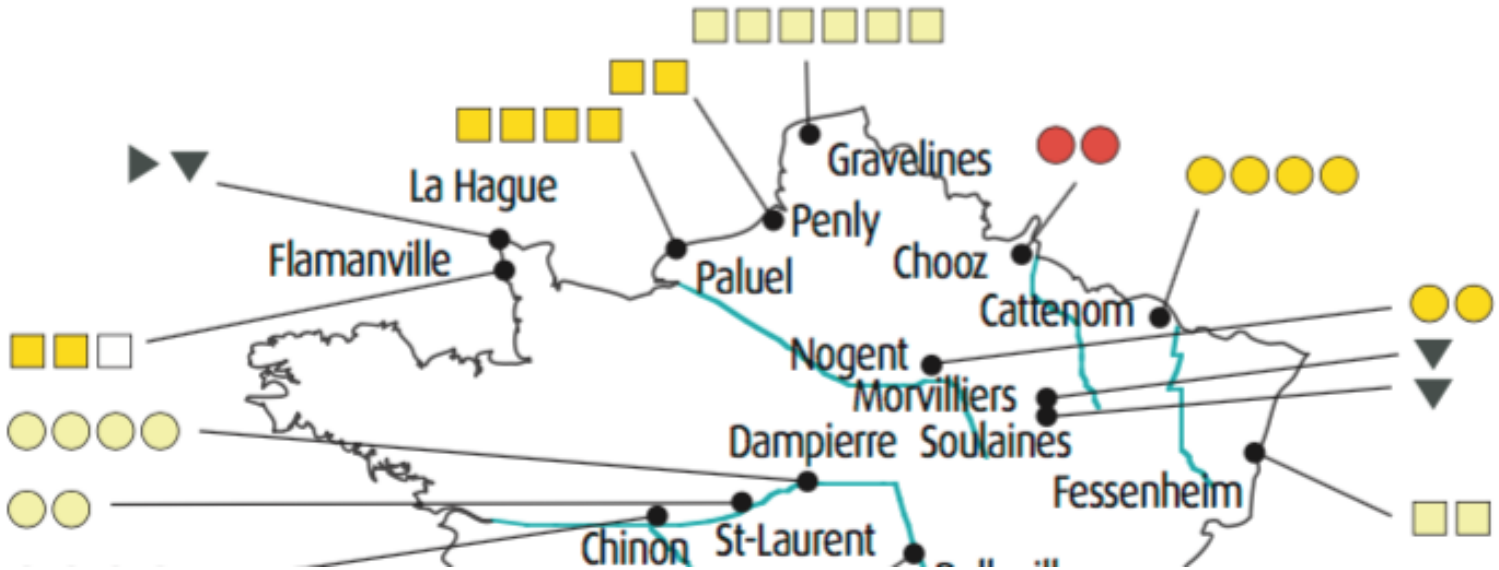
En Normandie … Gaz Naturel

Réseaux de transport, de stockage et compression de gaz naturel au 30 juin 2015



Sources : GRTgaz ; Storengy ; TIGF ; DGEC

En Normandie ... Nucléaire



◀ Usine de l'amont du cycle du combustible nucléaire (enrichissement)
▶ Usine de l'aval du cycle du combustible nucléaire (retraitement et fabrication du combustible MOX)
▼ Centre de stockage des déchets

Mode de refroidissement

☐ Circuit ouvert, avec prélevement ou rejet d'eau dans le cours d'eau ou la mer
◯ Circuit ouvert, avec prélevement ou rejet de vapeur dans l'atmosphère via des tours aéroréfrigérantes

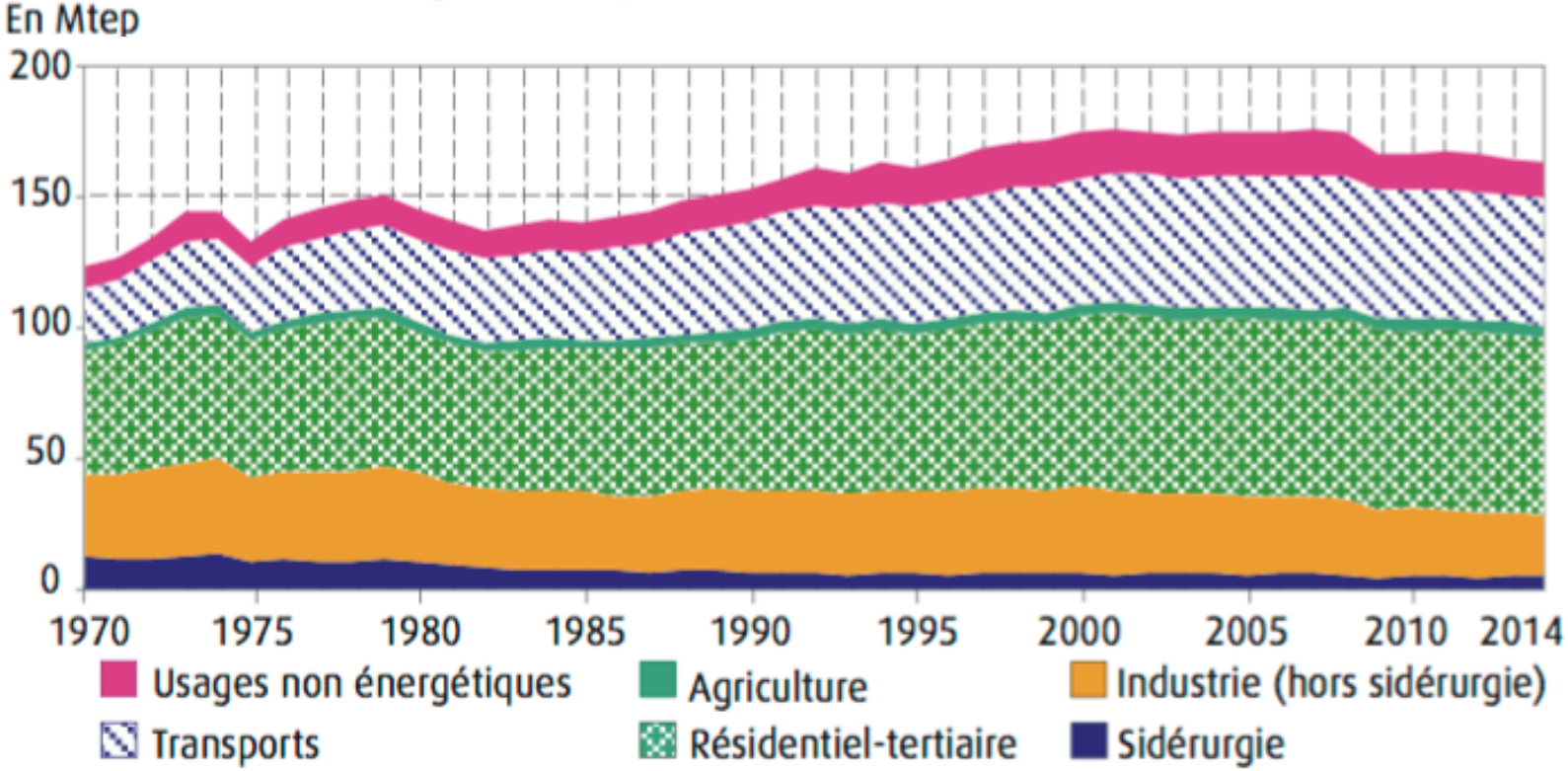
Palier REP standardisé

puissance électrique nette	nombre de tranches	année de mise en service commercial
900 MW	34	1978-1988
1 300 MW	20	1985-1994
1 450 MW	4	2000-2002
EPR (1 600 MW)	1 (en construction)	2017

Source : DGEC

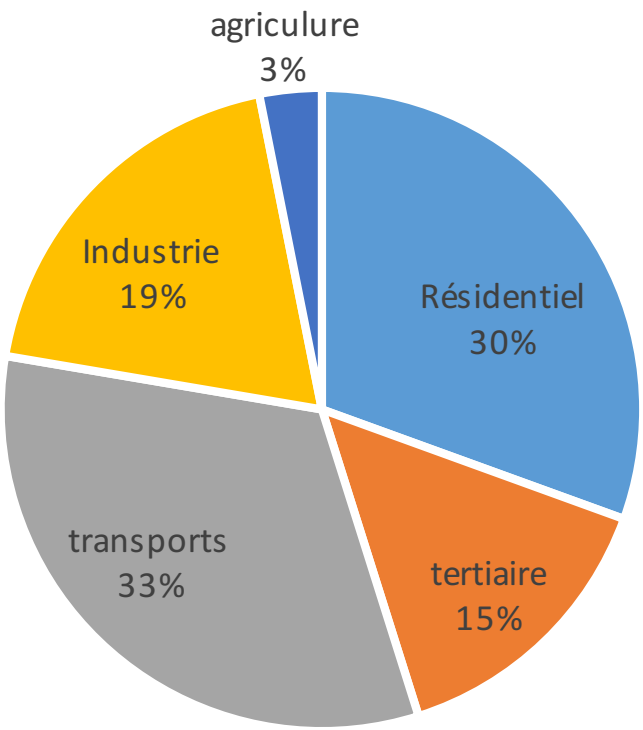
En Normandie ... Nucléaire

Consommation d'énergie finale par secteur



Source : calculs SOeS, d'après les données disponibles par énergie

Consommation finale d’énergie par secteur



Calcul SOeS, d’après les sources par énergie – données 2014

Consommation Energétique

- En France
- En Normandie
- Et nos bâtiments ?

En 2012…

Consommation finale d'énergie (MWh)	Quantité
Gaz naturel	6 681 390
Electricité	9 850 665
Combustibles fossiles hors gaz naturel	6 156 579
Energies renouvelables thermiques et déchets	3 054 460
Chaleur (réseaux)	391 717
TOTAL	26 134 811

1,45 %

Total National 1 795 672 000

En 2012…

Production d'énergie renouvelable (MWh)	Quantité
Eolien	450 000
Hydraulique	48 946
Solaire photovoltaïque	40 000
Bois	3 149 745
Solaire thermique	4 713
Biogaz	129 814
Pompes à chaleur géothermiques	2 692
Déchets renouvelables	49 735
TOTAL PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE	3 875 645

1,40 %

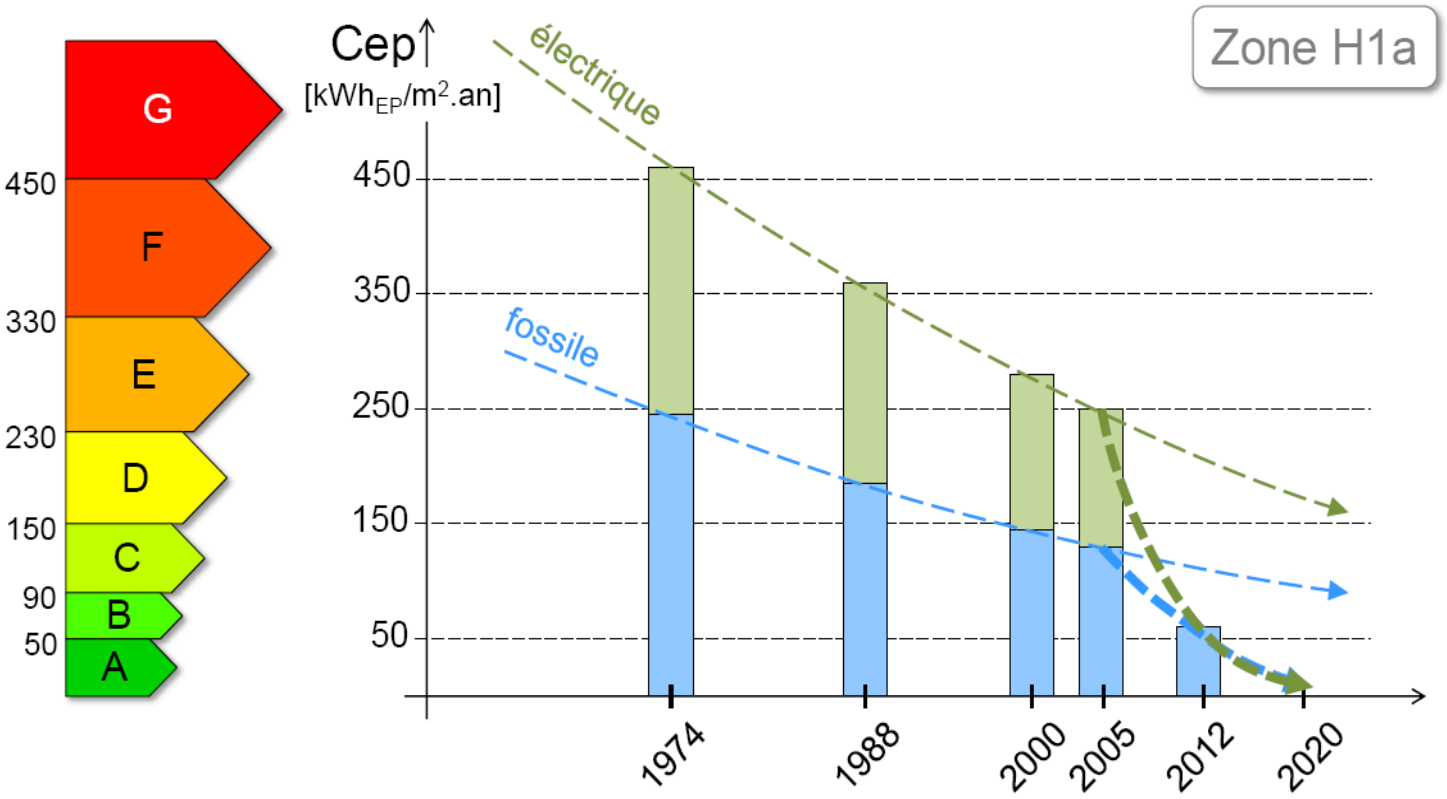
Total National 276 794 000

En 2012…

Consommations d'énergie évitées (MWh)	Quantité
Isolation	-12 791
Rénovations globales et constructions performantes	-33 024
TOTAL ÉCONOMIES D'ÉNERGIE	-45 815

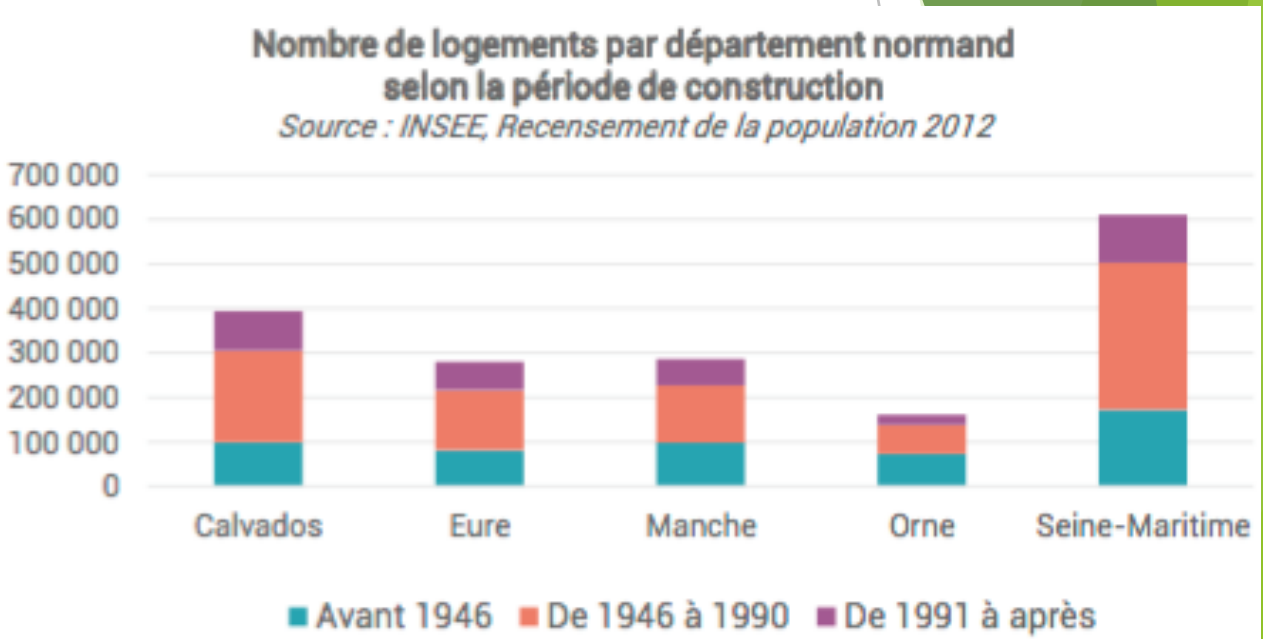
Les valeurs indiquées dans les lignes pompes à chaleur, isolation, rénovations globales et constructions performantes correspondent uniquement aux opérations aidées par la Région et/ou l'ADEME et/ou l'Etat.

Les bâtiments Normands



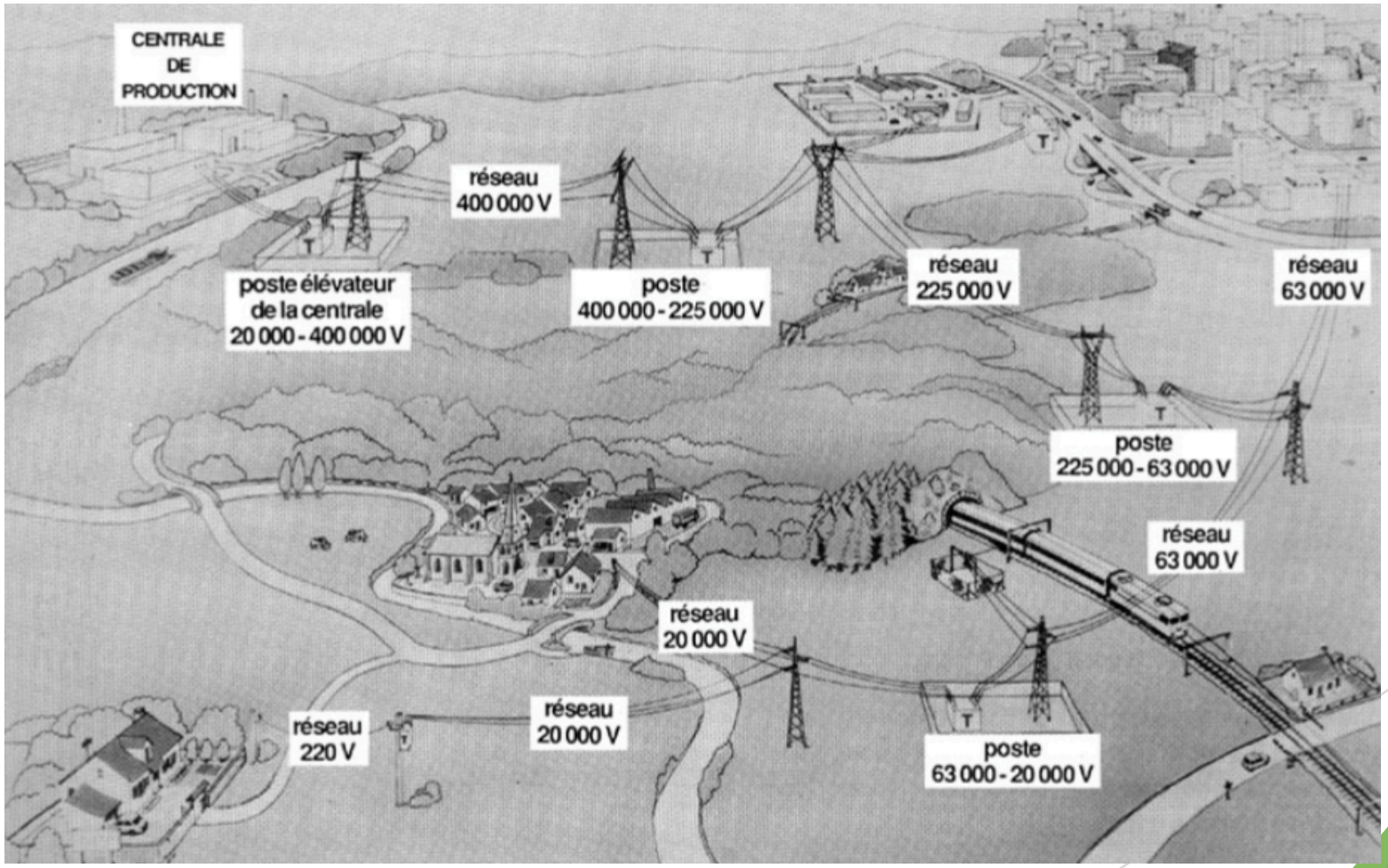
Les bâtiments Normands

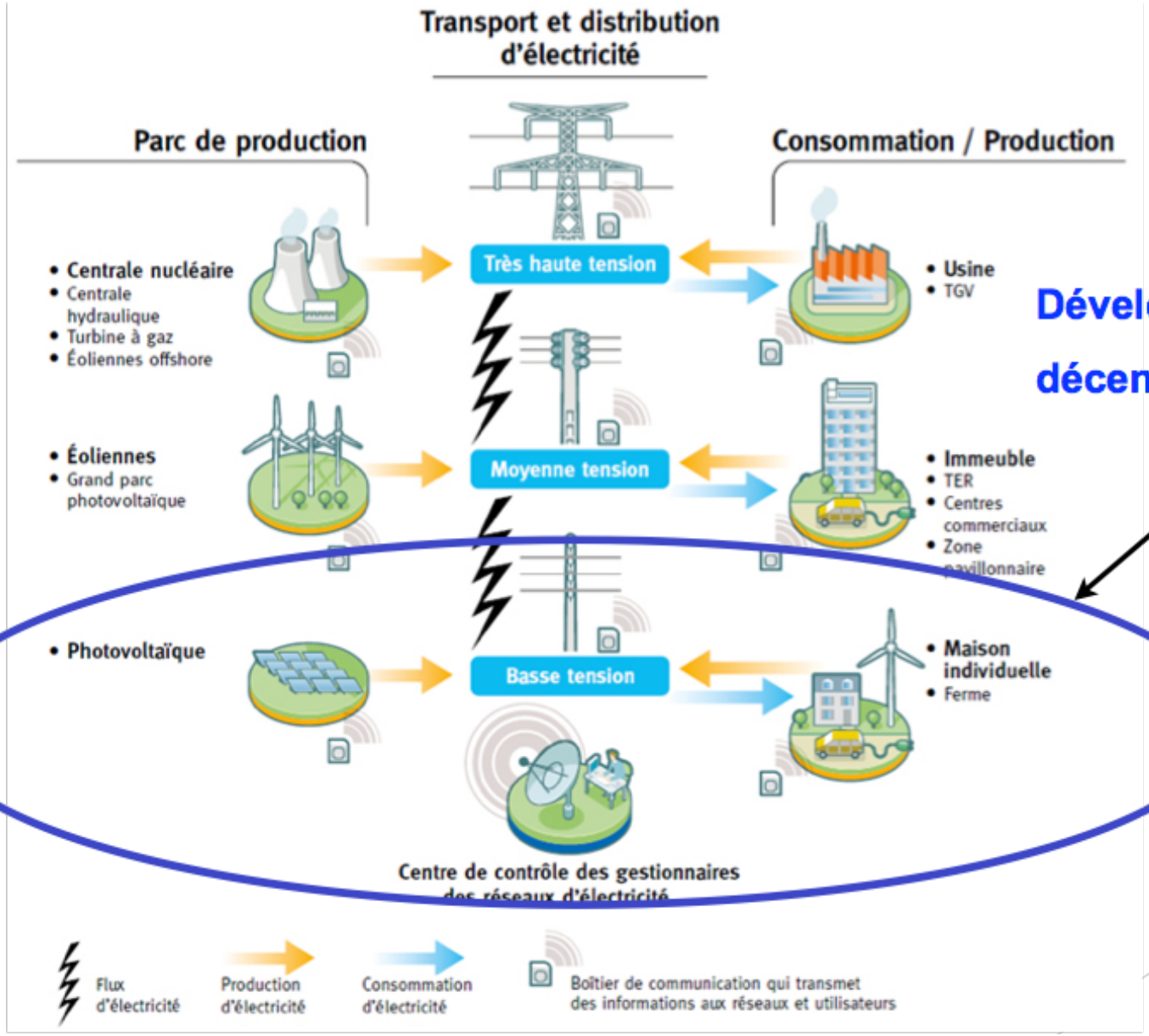
- 1 732 830 logements en Normandie
  - 83% de résidences principales
  - 9% de résidences secondaires
  - 7% de logements vacants
- 67% de maisons individuelles
- 30% de logements construits avant 1946 et 50% entre 1946 et 1990
- 290 800 logements sociaux
  (Source : SOeS, RPLS au 1er janvier 2015)



Réseaux électriques

- Eléments constitutif d'un réseau ?





Développement de la production décentralisée

Réseaux électriques

Différents modèles en Europe

l' Allemagne : 900 distributeurs d'électricité (90 % alimentent moins de 100000 clients). 50% clients sous régie communales (*Stadwerke*) + quelques opérateurs (dont RWE, EON, EnBW et Vatenfall).
L'écart de tarifs entre distributeurs peut atteindre 40 %.

En Suède, le réseau local est composé de 194 concessions géographiques gérées par 172 opérateurs différents.
Absence de péréquation tarifaire: chaque opérateur fixe le tarif d'acheminement, qui s'échelonne du simple au double

Le Royaume-Uni : monopoles régionaux, avec 14 opérateurs de distribution appartenant à six groupes qui ont chacun leur zone de desserte exclusive.
Le tarif de distribution, régulé nationalement, est également variable entre ces opérateurs en fonction de leurs charges et de leurs performances.

Pourquoi un Changement de paradigme ?

Rappel : 1987 – Gro Harlem BRUNDTLAND

Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement durable :

« un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs »

90% de l'approvisionnement mondial (énergie fossile et fissiles) ne permet de répondre à cette définition.

Pourquoi un Changement de paradigme ?

90% de l'approvisionnement mondial (énergie fossile et fissiles) ne permet de répondre à cette définition.

Conséquences *: dégats à l'échelle locale, régionale et mondiale*

→ *Irréversible*

→ *Cumulatif*

Rémanence dans l'environnement des méfaits (pollution air, déchets toxiques)

→ *décennies, siècles voire millénaire.*

Changement de paradigme

- Entre l'energie Primaire et Energie Utile - chaine Energétique

  → les pertes ne font que s'accumuler

  - Exemples précédent électrique

Réduire ces pertes est donc l'une des pistes les plus fructueuses pour desserrer les contraintes

Il faut se fonder sur les BESOINS.

Changement de paradigme – sobriété

- **Votre définition de la sobriété ? Différents niveaux ?**

Sobriété : ex. déplacement :

1er niveaux : le principe de sobriété :

les limiter au maximum (proximité maison/travail, télétravail,…), mode doux,

2e niveau : sobriété dimensionnelle : lors d'un investissment :

Adaptation type de déplacement, distance, nb de pers., charge à transporter→ éviter toute surpuissance inutile

Changement de paradigme – sobriété

- **Votre définition de la sobriété ? Différents niveaux ?**

Sobriété : ex. déplacement :

3e niveaux : sobriété coopérative :

Avantage de la mise en commun pour réduire les besoins : ex. mutualisation des équipements, organisation collective des territoires

Incitation au service d'autopartage ou location, covoiturage plutot que la propriété individuelle

4e niveaux : sobriété d'usage :

Limiter le niveau ou la durée d'utilisation d'un appareil

Limiter les accélération saccadées, inciter à une conduite douce.

D'autres exemples ?

Changement de paradigme – sobriété

- **Cette sobriété s'applique aussi à des choix collectifs**
  - Ex: Aménagement de l'espace : limiter les installations inutiles prestigieuses à fortes charges de fonctionnement
  - Mutualiser les équipements ainsi que les équipements de transport
  - Favoriser l'accès à tous à la lumière et au soleil (conception de PU)
  - **Une transition énergétique passe INEVITABLEMENT par le changement de comportements individuels et collectifs vers une conception commune.**

Changement de paradigme – Efficacité

- **Votre définition de l'efficacité? Différents niveaux ?**

1er niveaux : Efficacité adaptive (energie utile)

S'adapter au milieu environnant et conditions réelles. Ex : isolation d'un bâtiment, apport solaires gratuit par bonne orientation de la maison, etc.

2e niveau : Efficacité de fonctionnement (energie finale)

Augmentation des rendements, limitation des pertes ou des fuites, …

3e niveau : Efficacité productive (energie primaire)

Augmentation des rendements du système de production, transformation, et d'acheminement.

Changement de paradigme – Efficacité

- **Votre définition de l'efficacité? Différents niveaux ?**

4e niveaux : transversale amont et aval : Energie Incorporée

Energie nécessaire à la fabrication des matériaux, des appareils, et systèmes

Energie Incorporée + Energie Récyclage = Energie GRISE.

L'énergie grise peut des fois contrebalancer tout le travail des niveaux 1 à 3

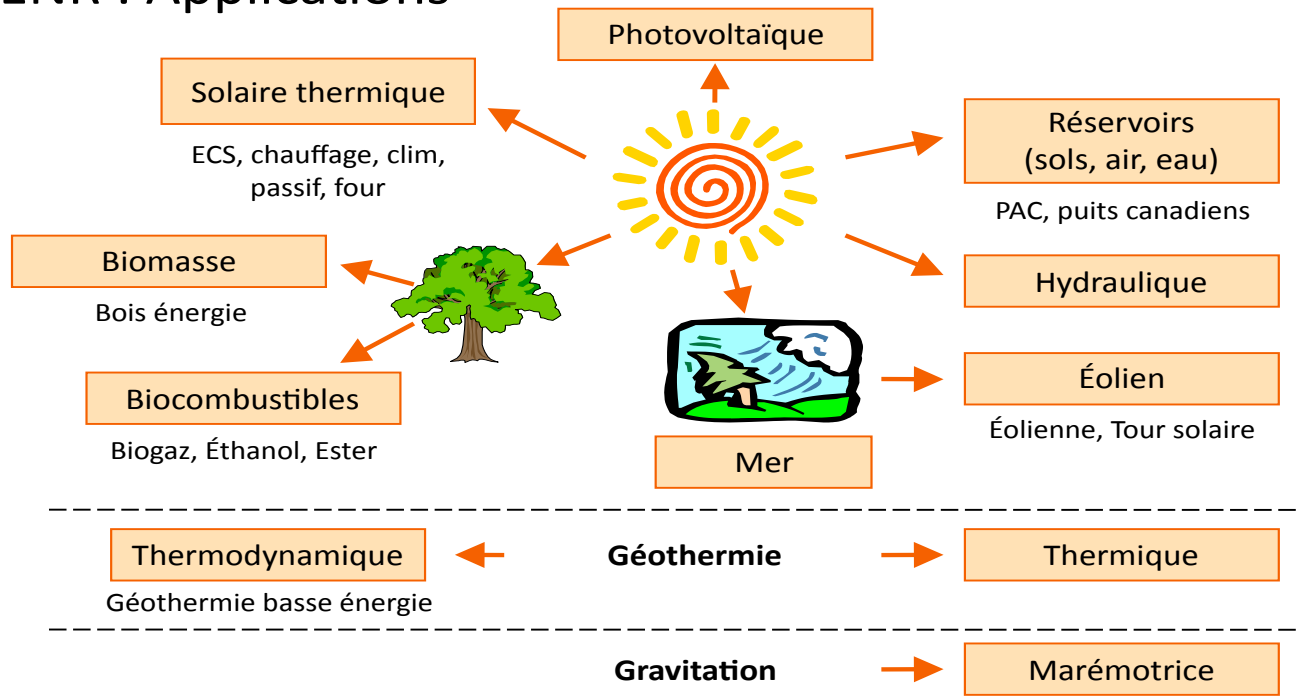
Exemple : le bâtiment – Pourquoi ?

→ Le donneur d'ordre a donc un rôle important dans ses choix

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Les énergies renouvelables

- ENR : Applications

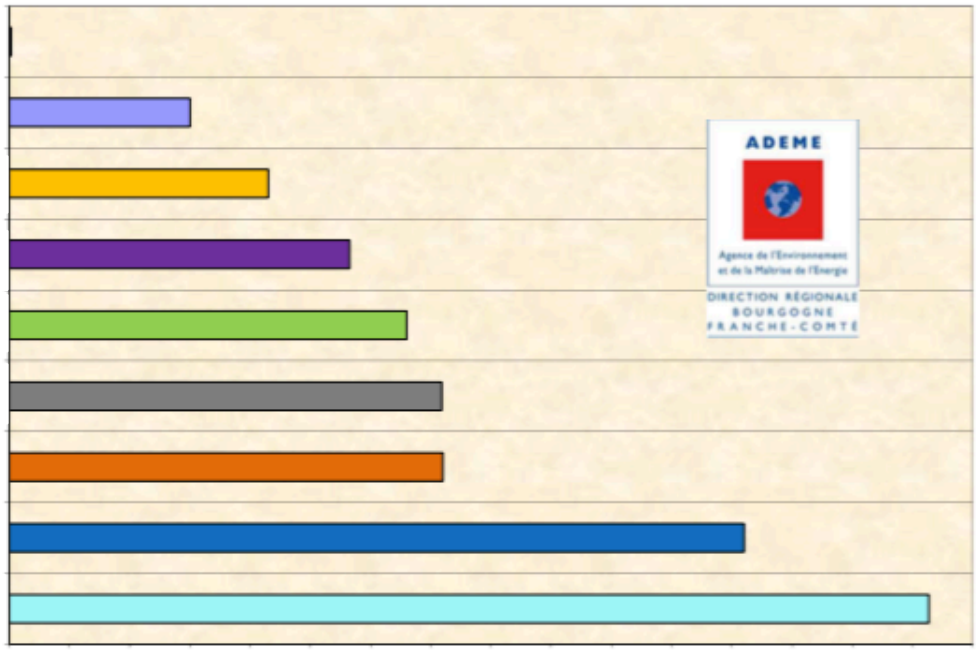


La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Prix des énergies à usage domestique au 15 janvier 2016

en centimes d'euro TTC par kilowattheure PCI

(ne tenant pas compte du rendement des appareils produisant et émettant de la chaleur, sauf pour les systèmes à plaquettes, bûches et granulés)



Sources

Energie Plus (revue de l'ATEE), pour le gaz naturel, le propane, le fuel domestique et l'électricité en région parisienne. Les prix du gaz naturel, du propane et du fuel domestique peuvent être différents dans les autres régions.
AJENA, pour les granulés, les bûches et les plaquettes en région Franche-Comté (janvier 2016).

Conditions particulières

Plaquettes : 83 € TTC la tonne. Convient rarement au chauffage individuel.
Granulés en vrac : prix variable selon le diamètre, la quantité livrée et la distance de transport.
Gaz naturel : tarif B1, niveau 1, abonnement compris.
Électricité : 12 kVA double tarif (option heures creuses), abonnement compris.

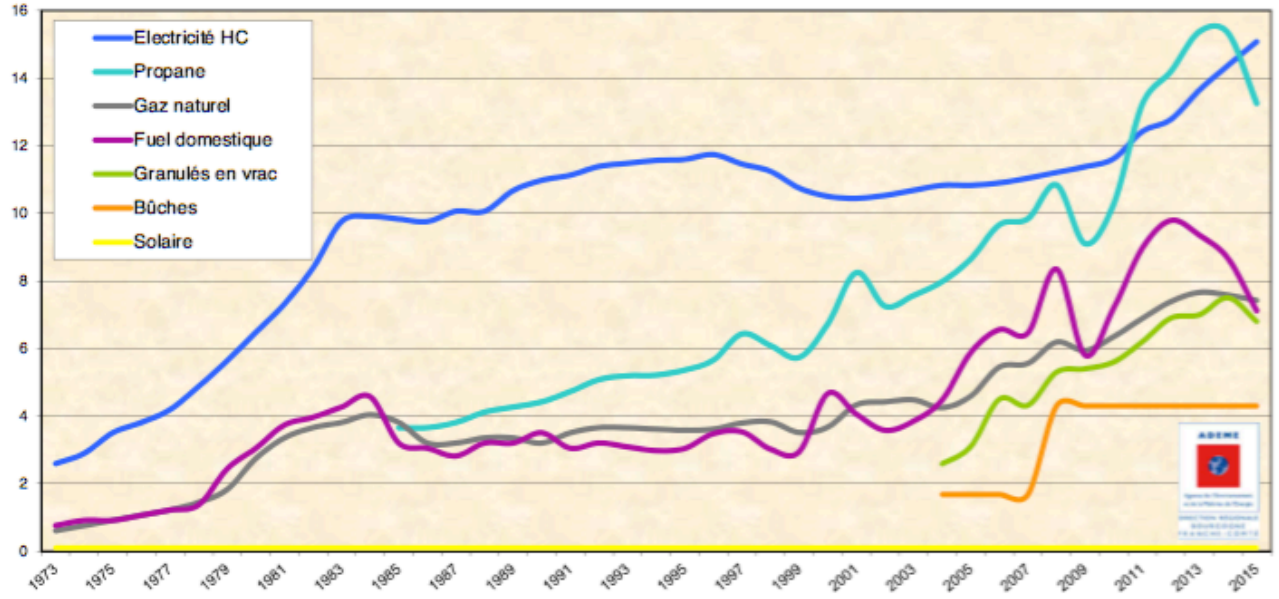
Bûches : en quartiers de hêtre sciés en 33 cm. 48 €le stère.
Granulés en sac : conditionnés en sacs de 15 kg. Diamètre 6 mm.
Fioul domestique : livraison par 1 000 litres.
Gaz propane : livraison par 700 kg, option *Consignation de la cuve*.

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Prix des énergies pour l'utilisateur – Secteur de l'habitat – de 1973 à 2015

Éditeur : ADEME Bourgogne Franche-Comté

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution du prix des énergies à usage domestique
(en centimes d'euros TTC courants par kilowattheure PCI)



Bûches	Prix variable selon la zone géographique et le mode de fourniture (par autoproduction ou achat sur le marché). Prix pour du hêtre en quartiers, sciés en 33 cm (48 euros le stère).	Fuel domestique	Livraison par 1 000 litres (moyenne France entière).
		Gaz naturel	Abonnement compris.
Électricité	Abonnement compris (option *Heures creuses*).	Granulés en vrac	257 euros la tonne (prix moyen).
		Propane	Option *Consignation*.

Sources *Energie Plus* (revue de l'ATEE), pour le gaz naturel, le propane, le fuel domestique et l'électricité en région parisienne. Les prix du gaz naturel, du propane et du fuel domestique peuvent être différents dans les autres régions.
AJENA Contact (revue de l'AJENA), pour les granulés en vrac et les bûches en Franche-Comté.

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Biomasse

Contexte

- Une utilisation traditionnelle du bois dont l'usage perdure
- Des filières en développement permettant d'optimiser la valorisation des ressources naturelles et l'utilisation des bio déchets agricoles et industriels :
  - Le bois énergie
  - Le biogaz
- Un potentiel largement sous exploité
  - Bois de forêt et bois de haies
  - Elevages
- Des technologies de pointe permettant des usages multiples – électricité, chaleur, carburant :
  - La cogénération,
  - La pile à combustible,
  - La gazéification

En 2013 (Global Chance)

150 g GES / kWh

Le bois énergie

Une filière en plein développement

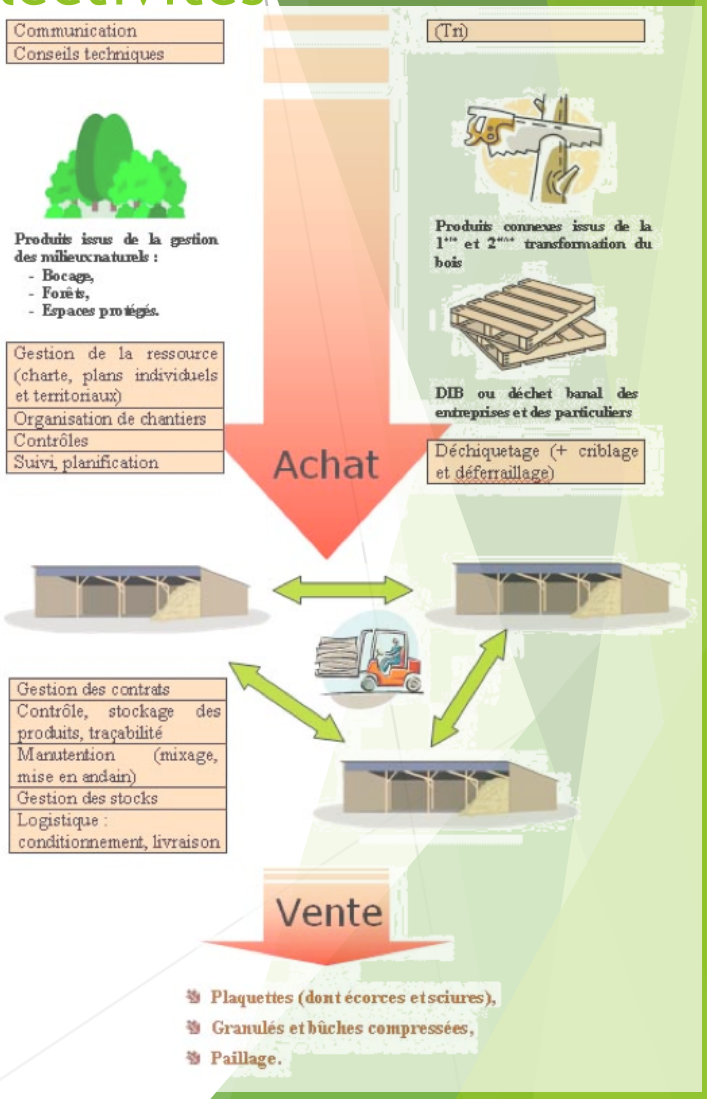
- **Développement accès sur le bois déchiqueté**
  - Meilleure valorisation du bois de haie (30% en plus)
  - Préservation du paysage bocager
  - Ressource importante et bien repartie
  - Convient parfaitement aux chaudières automatiques de proximité (petite et moyenne puissance): système de chauffage confortable et économique
  - Développement aval tourné vers les exploitations agricoles et les petites collectivités

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Retombées potentielles d'un projet de plates-formes bois :

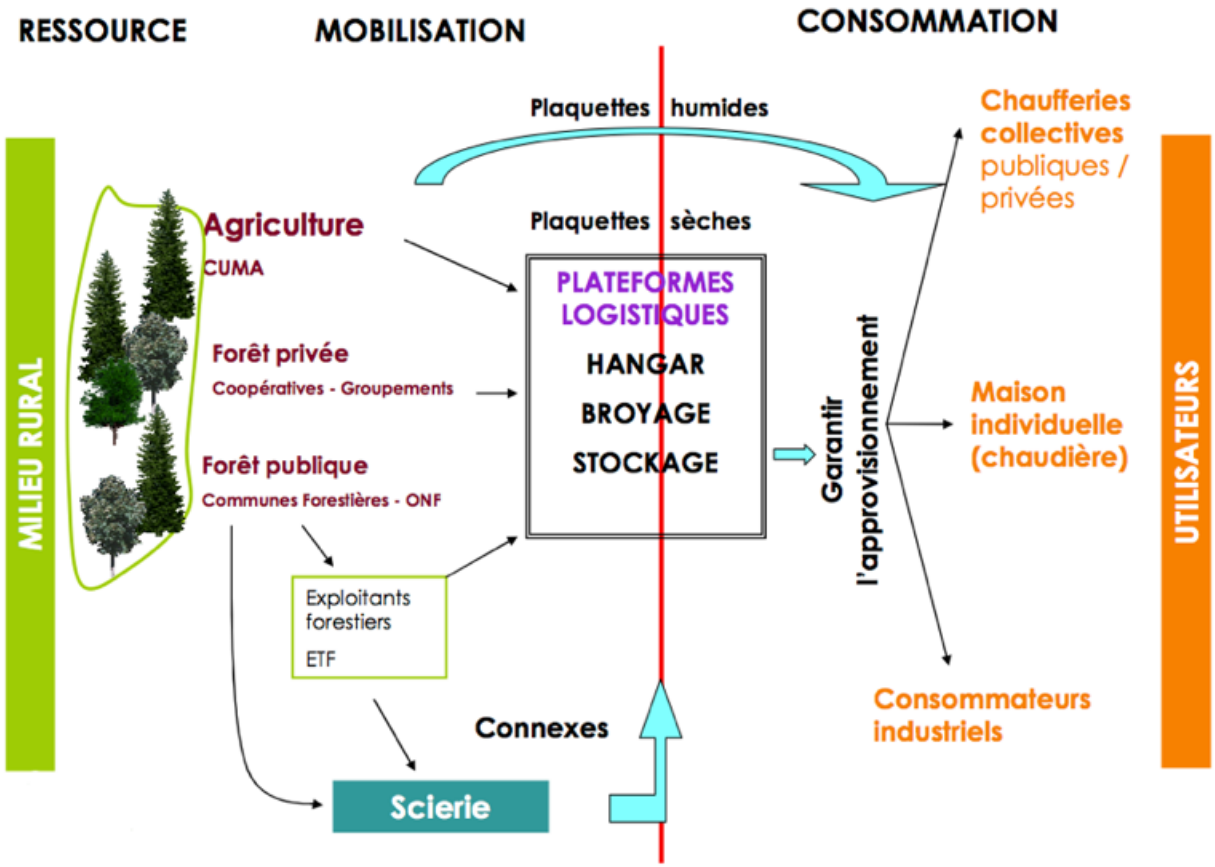
- Créations et maintien d'emploi : agriculteurs, gestionnaire de plate-forme, entretien des chaufferies,
- Dynamisme économique : constructeurs, bureaux d'études, Protection de l'environnement

La Boucle Locale : une notion à généraliser au bénéfice du territoire



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Détermination des besoins et des ressources



Source URACOFRA J.F. Veille

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Détermination des besoins et des ressources

Pouvoir calorifique

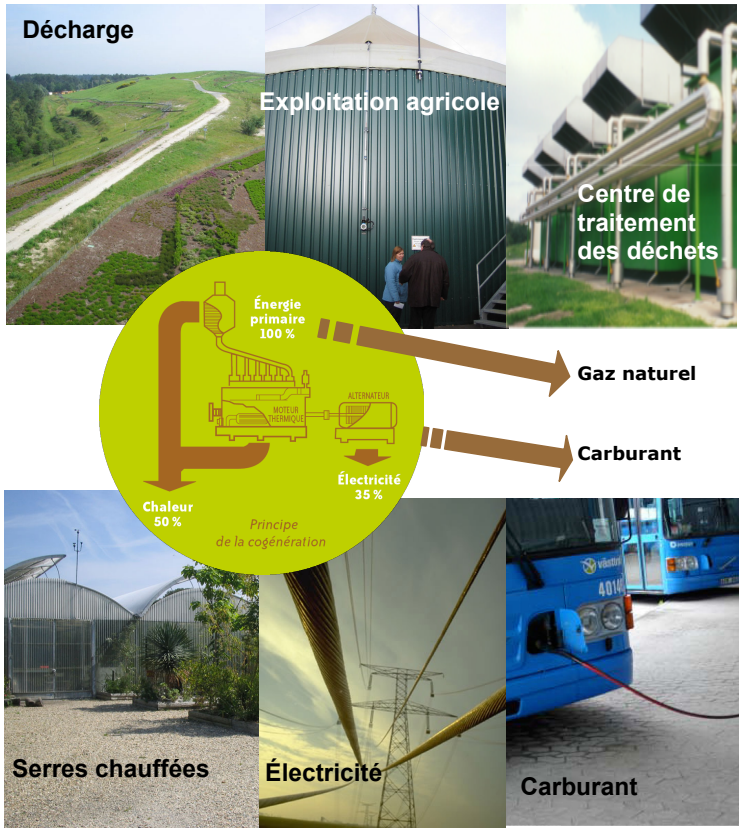
- Pouvoir calorifique inférieur (PCI) de différents combustibles

COMBUSTIBLES	POUVOIR CALORIFIQUE	DENSITE	HYGROMETRIE
Fioul domestique	10 kWh pci/litre	845 kg/m3	-
Gaz naturel	10 kWh pci/m3	0,74 kg/m3	-
Propane	12,8 kWh pci/kg	2,04 kg/m3	-
Bois bûches	3,8 kWh pci/kg	400 kg/stère/m3	20%
Plaquettes	3,5 kWh pci/kg	260 kg/m3	25%
Granulés de bois	4,6 kWh pci/kg	650 kg/m3	10%

x

Biomasse : le Biogaz

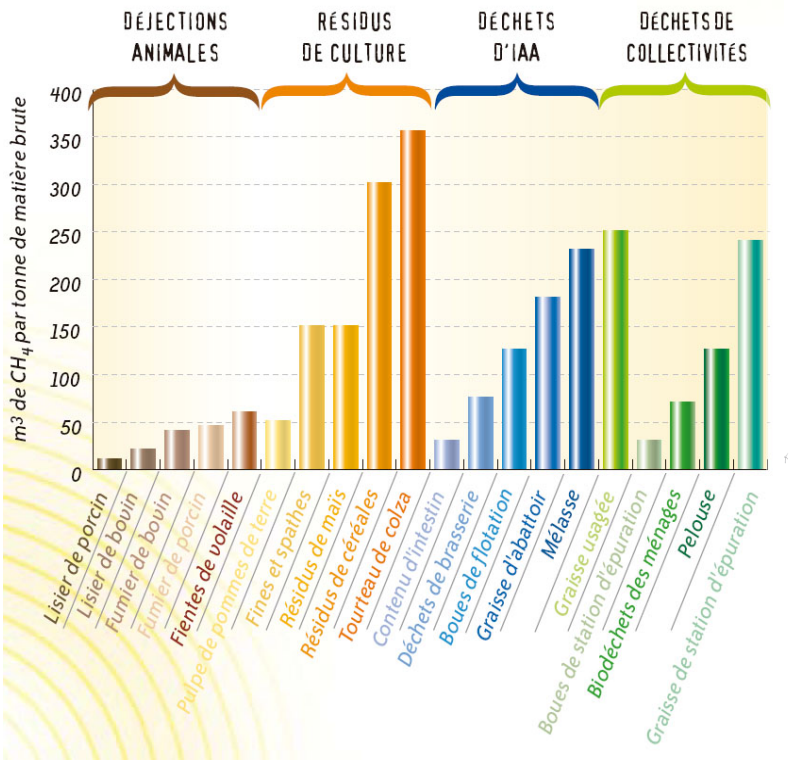
Potentiel - suite



- De multiples déchets/sous produits valorisables énergétiquement
- De multiples solutions techniques pour de multiples usages finaux :
  - Chaleur,
  - Électricité (réinjection)
  - Carburant.
  - Gaz (réinjection)
- Des **impératifs** pour envisager le développement de la filière :
  - Gestion partagée des sous produits
  - Vision fine des besoins énergétiques du territoire

Biomasse : le Biogaz

Potentiel - suite



- De multiples déchets/sous produits valorisables énergétiquement
- De multiples solutions techniques pour de multiples usages finaux :
  - Chaleur,
  - Électricité (réinjection)
  - Carburant.
  - Gaz (réinjection)

Des **impératifs** pour envisager le développement de la filière :

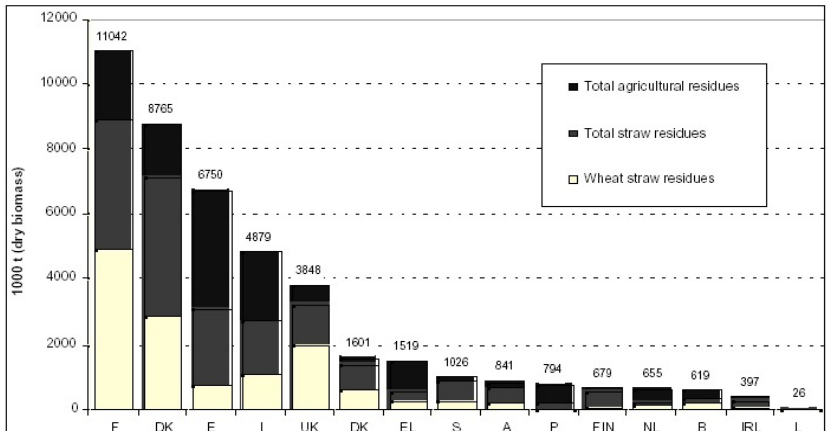
- Gestion partagée des sous produits
- Vision fine des besoins énergétiques du territoire

Biomasse : le Biogaz

Potentiel - suite

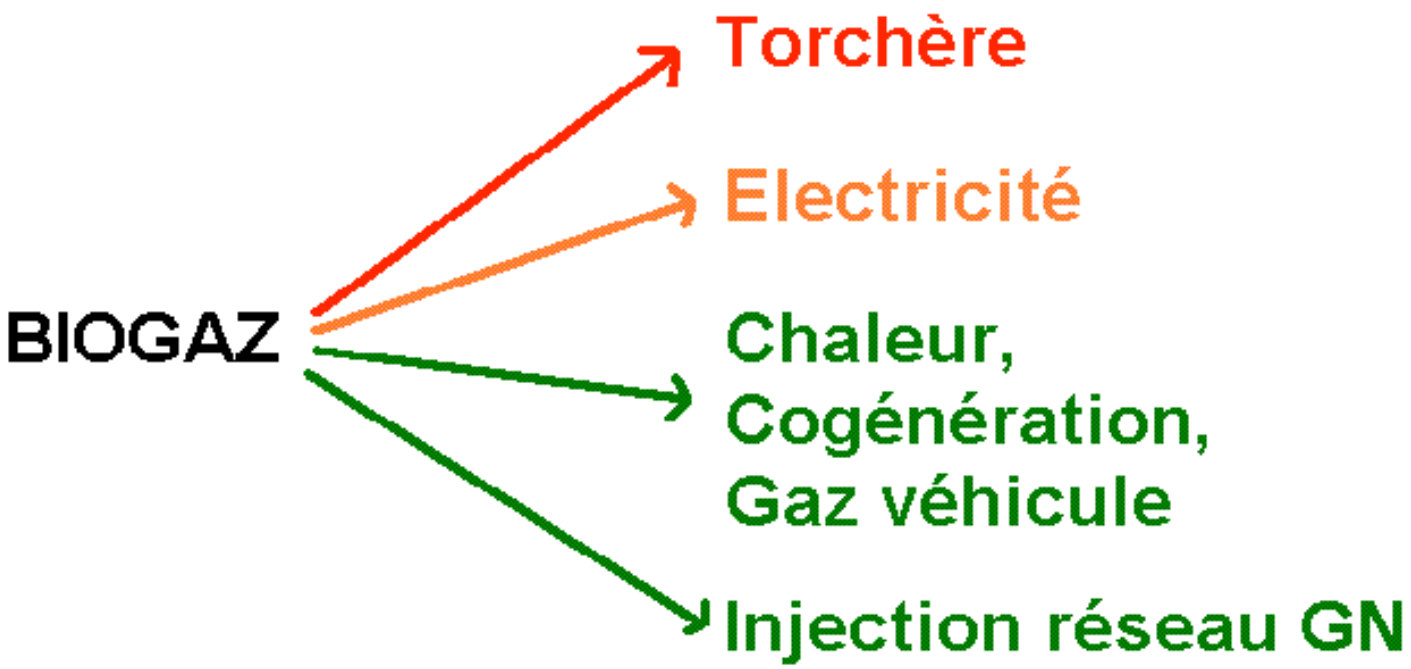
- 200 GWh potentiel (max)
  - 32 ktep agricole
  - 172 ktep total
- Principe (modèle Danois et Allemand)
  - Productions de 500 kW à 3 MW
  - Approvisionnement de 10 à 40 km
  - Complément Gaz Naturel ou GPL
- Rentabilisation des installations : moins de 6 ans

Figure 2. Total agricultural residues available for energy purposes in the EU-15 (medium assumption).



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

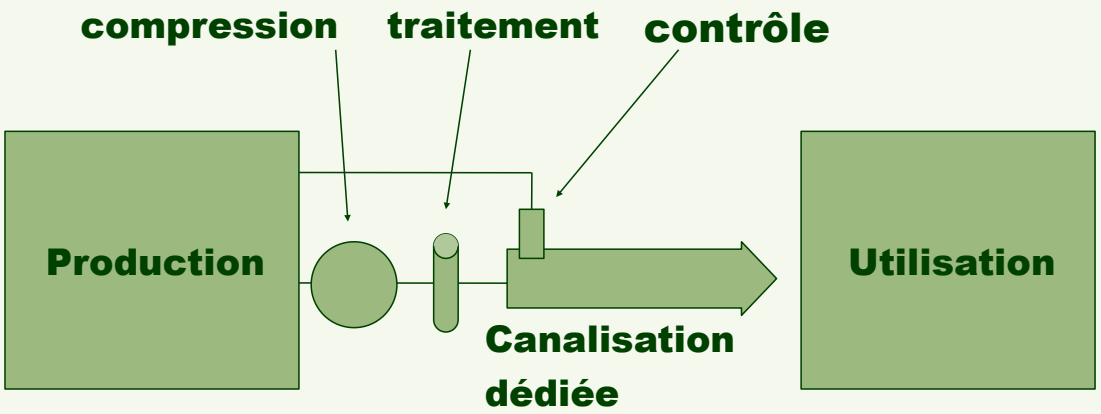
Les débouchés énergétiques du Biogaz



x

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Transport du biogaz par canalisations dédiées

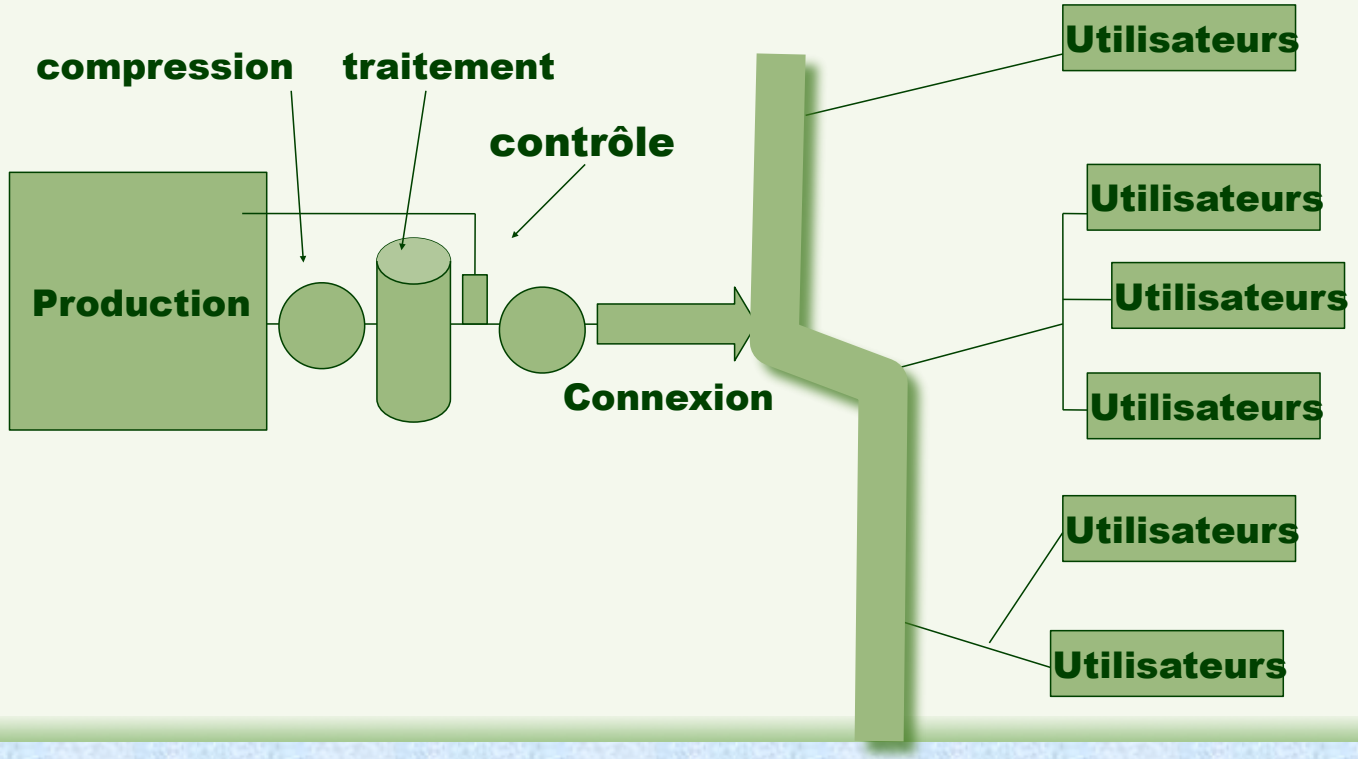


Demande chaleur sur site << production

Utilisateur(s) à distance (jusqu ’à 10 km) Demande compatible avec production (en volume et dans le temps)

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

transport du biogaz épuré par canalisations publiques



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Bio GNV

STEP de Lille

Bus à gaz

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Epuration pour injection Réseau

CET de Wijster (NL)

Epuration par adsorption zéolithes et charbon actif

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Epuration pour injection Réseau

Usine de méthanisation, CET et STEP

Tilburg (NL)

Epuration par absorption à l 'eau et adsorption charbon actif

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Epuration pour injection Réseau

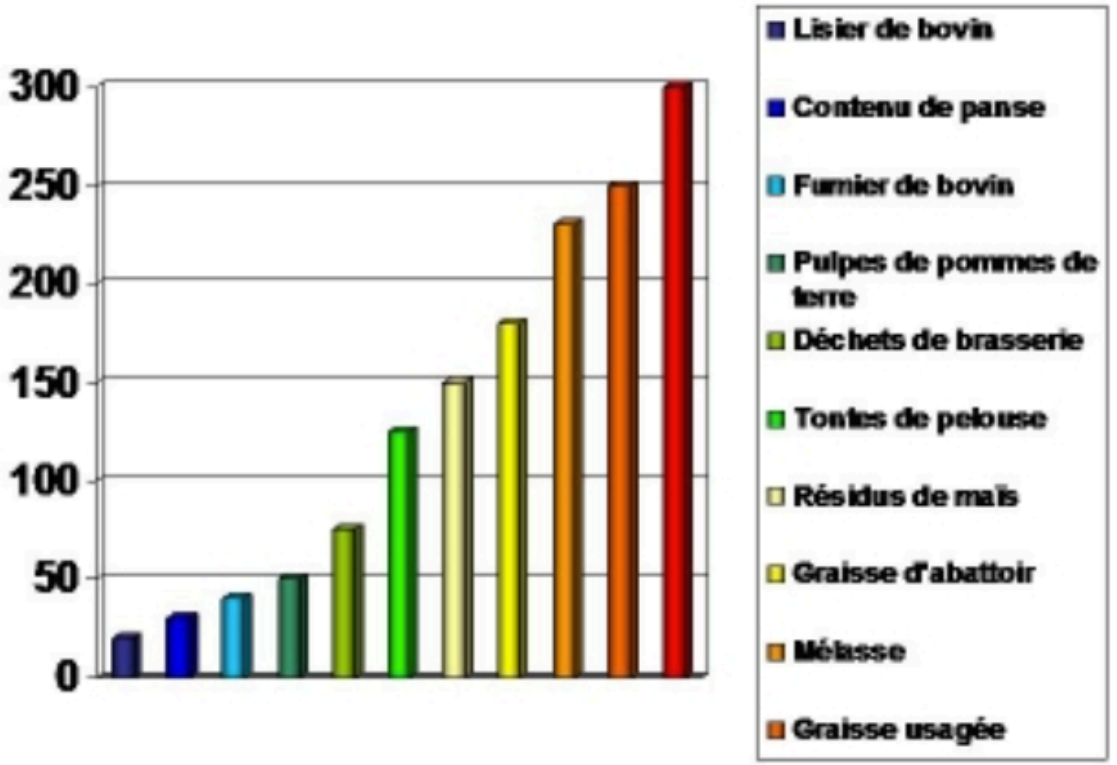
CET de Montech

Epuration par absorption à l 'eau - adsorption zéolithe

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

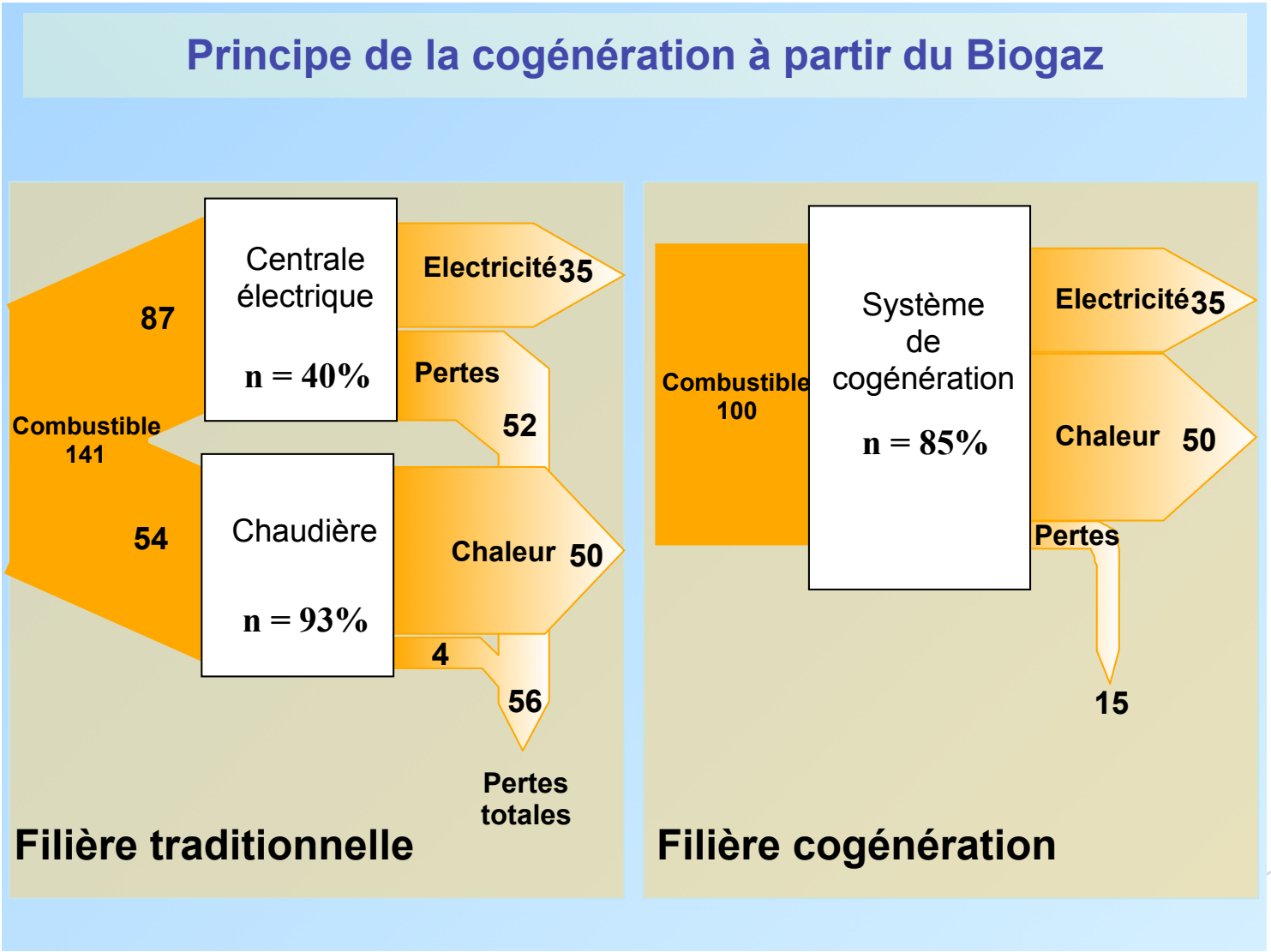
Pouvoir méthanogène

Matière	Potentiel méthane (m3 CH4/T matière brute)
Lisier de bovin	20
Contenu de panse	30
Fumier de bovin	40
Pulpes de pomme de terre	50
Déchets de brasserie	75
Tontes de pelouse	125
Résidus de maïs	150
Graisse d'abattoir	180
Mélasse	230
Graisse usagée	250
Résidus de céréales	300



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Principe de la cogénération à partir du Biogaz



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Le solaire photovoltaïque

Généralités

En 2013 (Global Chance)

40 g GES / kWh

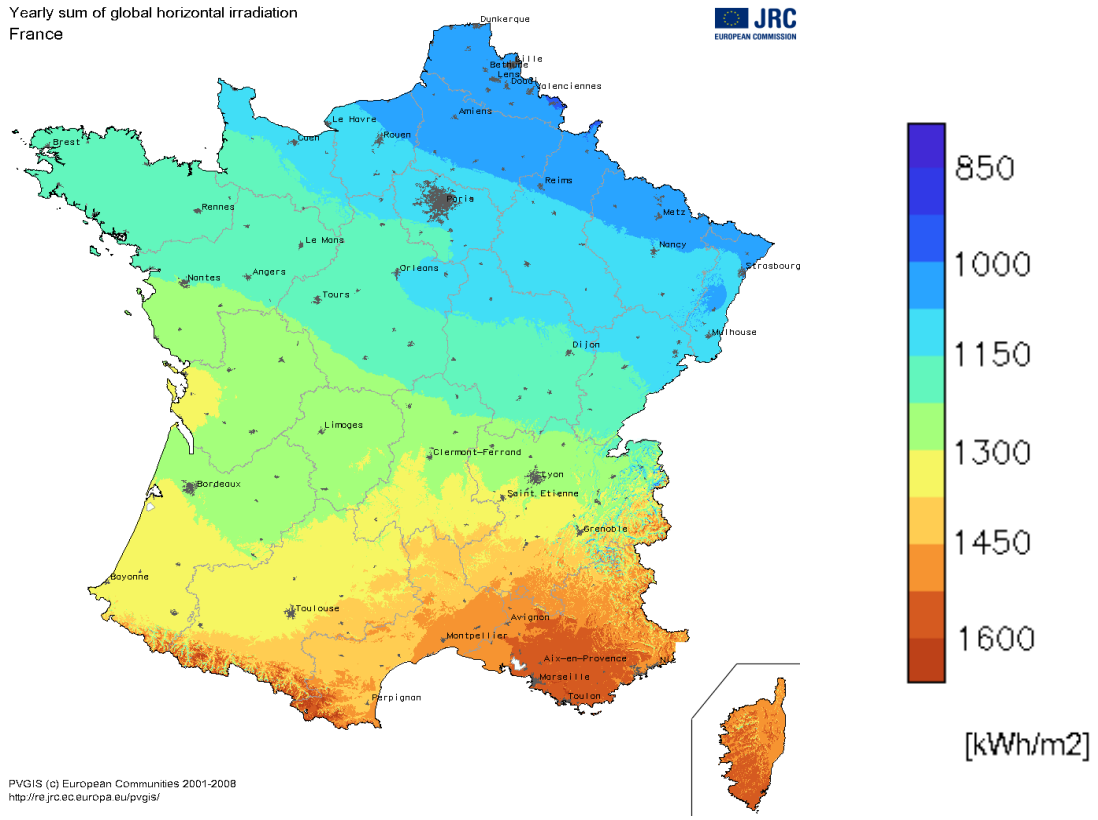
Une centrale solaire de 1 kWc produit environ 1 kWh d'énergie par an. (Le Wc - Watt crête) est la puissance maximale délivrée par un module photovoltaïque sous un ensoleillement de 1000 W/m2 à 25°C et AM=1,5)

Dans l'Ouest, 1 m2 de capteurs produit de 40 à 100 kWh/an. Il faut compter autour de 4-5 € du Wc, prix pour les particuliers (pose comprise)

Usage : production électrique en injection ou en réseau autonome (site isolé ou autoconsommation)

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Ensoleillement annuel en France
en kWh/m² par an sur une surface horizontale



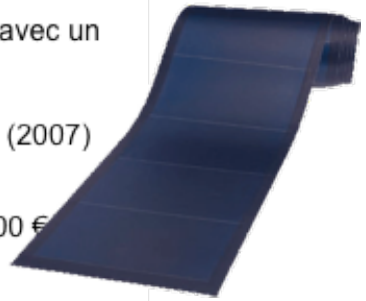
x

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Le solaire photovoltaïque

Utilisation

- Caractéristiques :
  - 337 m² de toiture recouvert avec un matériau innovant,
  - 15,9 kWc installé
  - 15000 kWh/an à 57 c€/kWh (2007)
- Financement
  - Part Conseil Général : 56 500 € (50,7%)
  - 7 Vents : 54 800 € (49,3%)

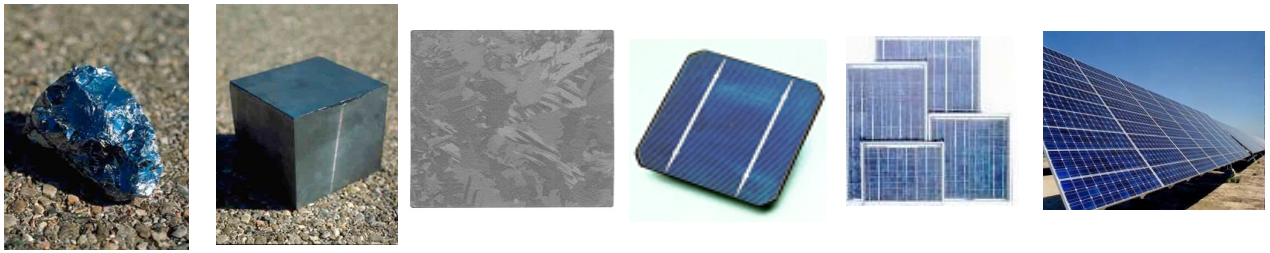


- De nombreux cas adaptés tant économiquement que techniquement
  - Éclairage,
  - Vitrage,
  - imperméabilisation

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Filière Silicium Cristallin

- De la silice au silicium…



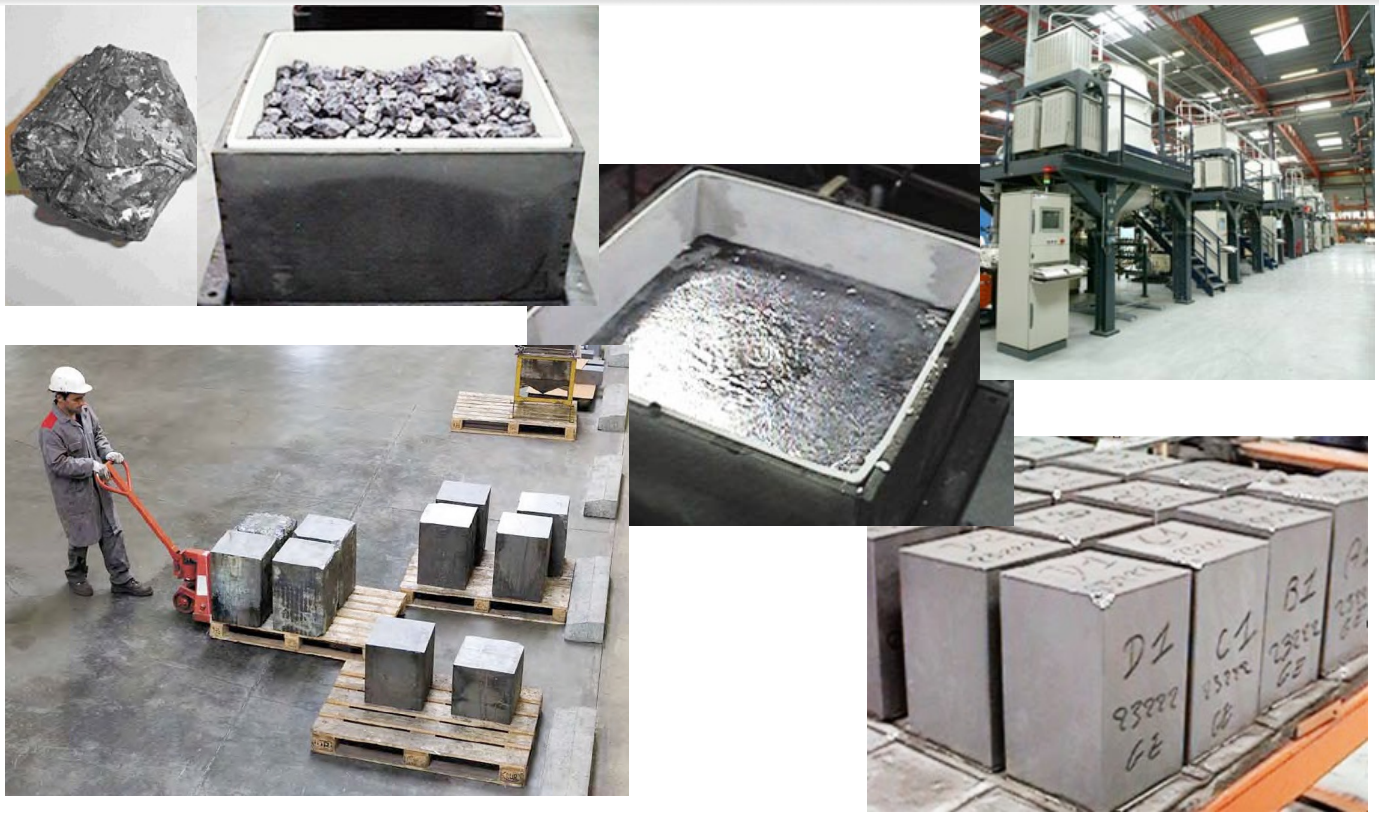
Silicium purifié → **Lingot** → **Wafer** → **Cellule** → **Module** → **Systèmes**

Procédé chimique de purification	Moulage Sciage	Traitement De surface	Lamination

x

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Filière Silicium Cristallin



x

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Silicium monocristallin

Fabrication énergivore (2 à 3 fois plus que les polycristallins)
Rendement : 12 à 15 %

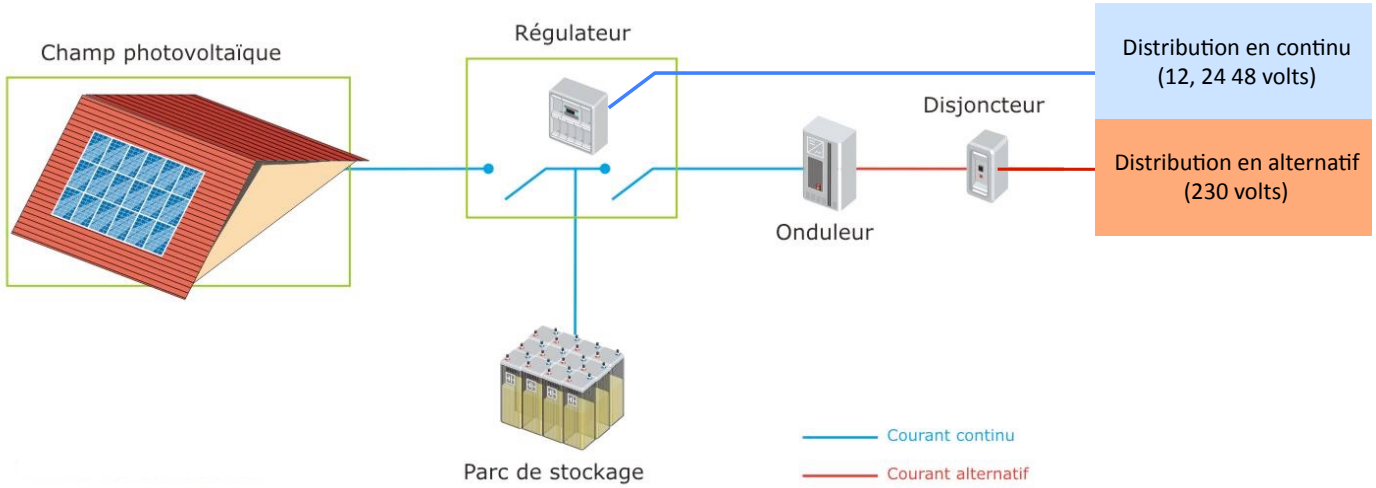
Silicium polycristallin

Peu de déchets de fabrication
Le plus utilisé
Rendement : 11 à 14 %

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

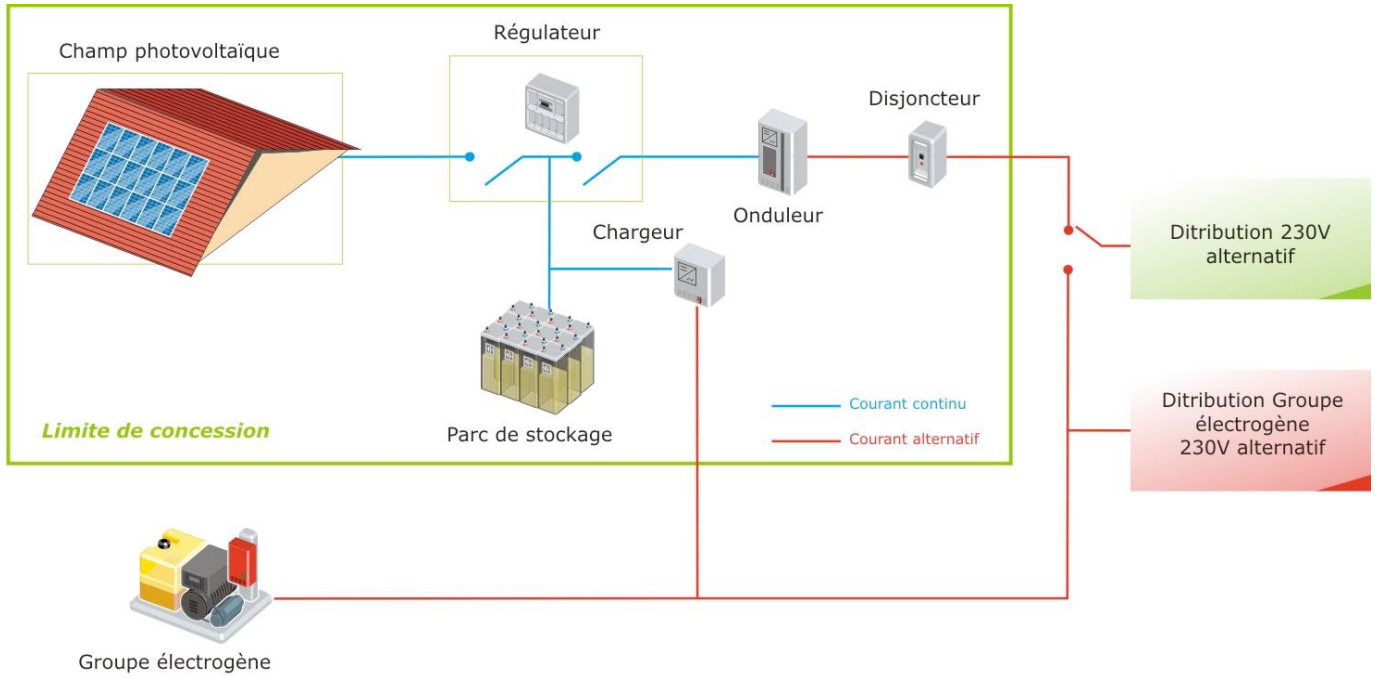
Les systèmes autonomes avec batterie d'accumulateurs

- Applications principales : Électrification habitat, télécommunication, signalisation routière, etc.



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

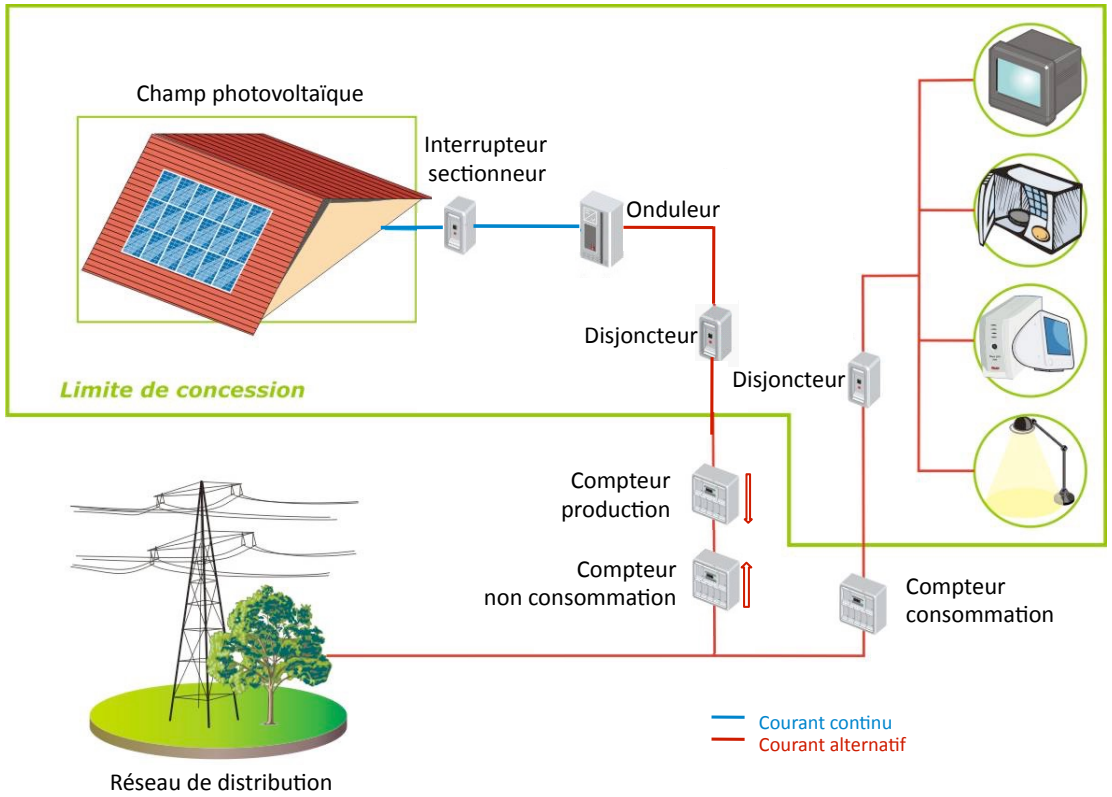
Les systèmes hybrides individuels



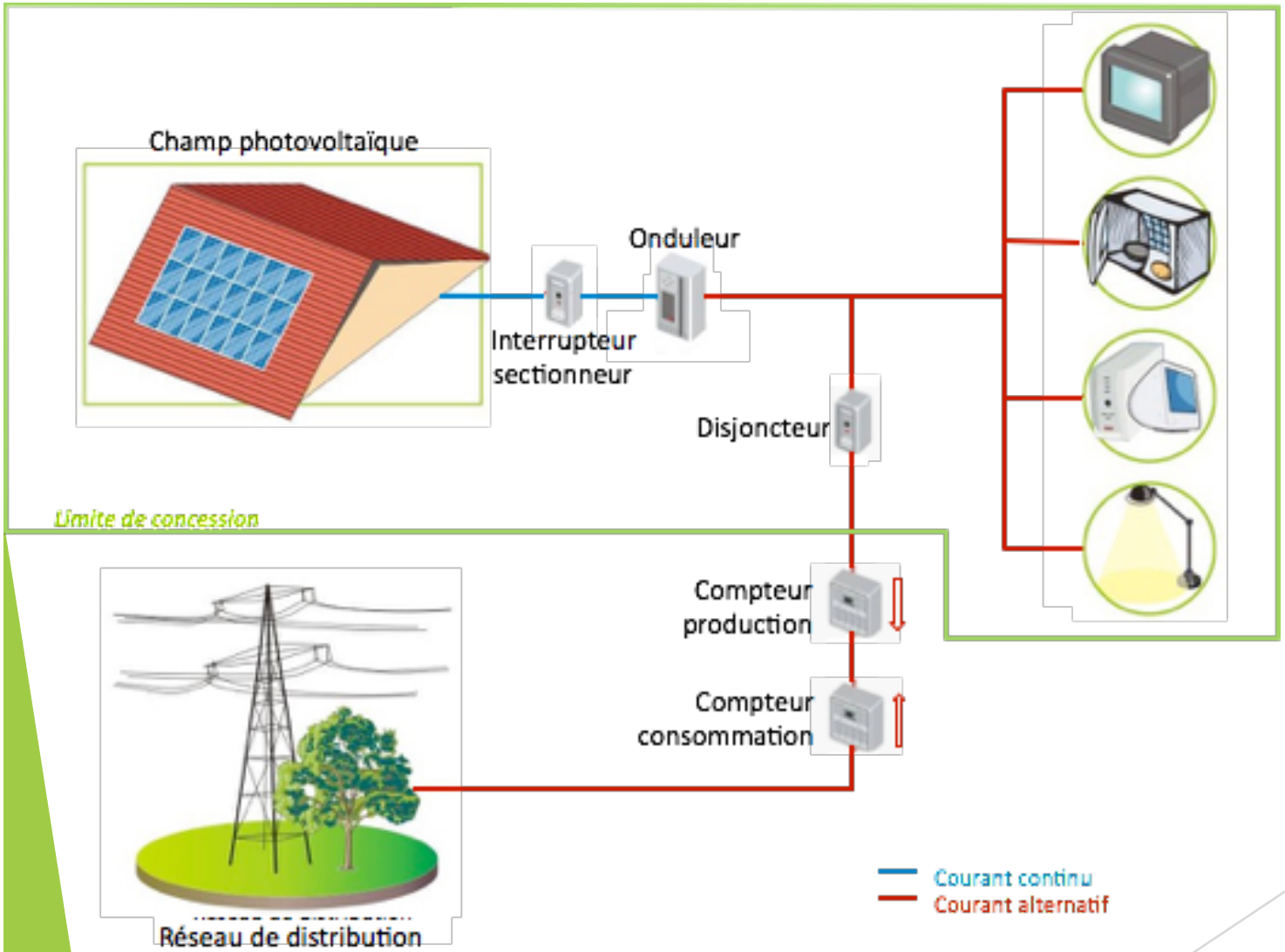
La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Les systèmes PV raccordés réseau

Vente totale

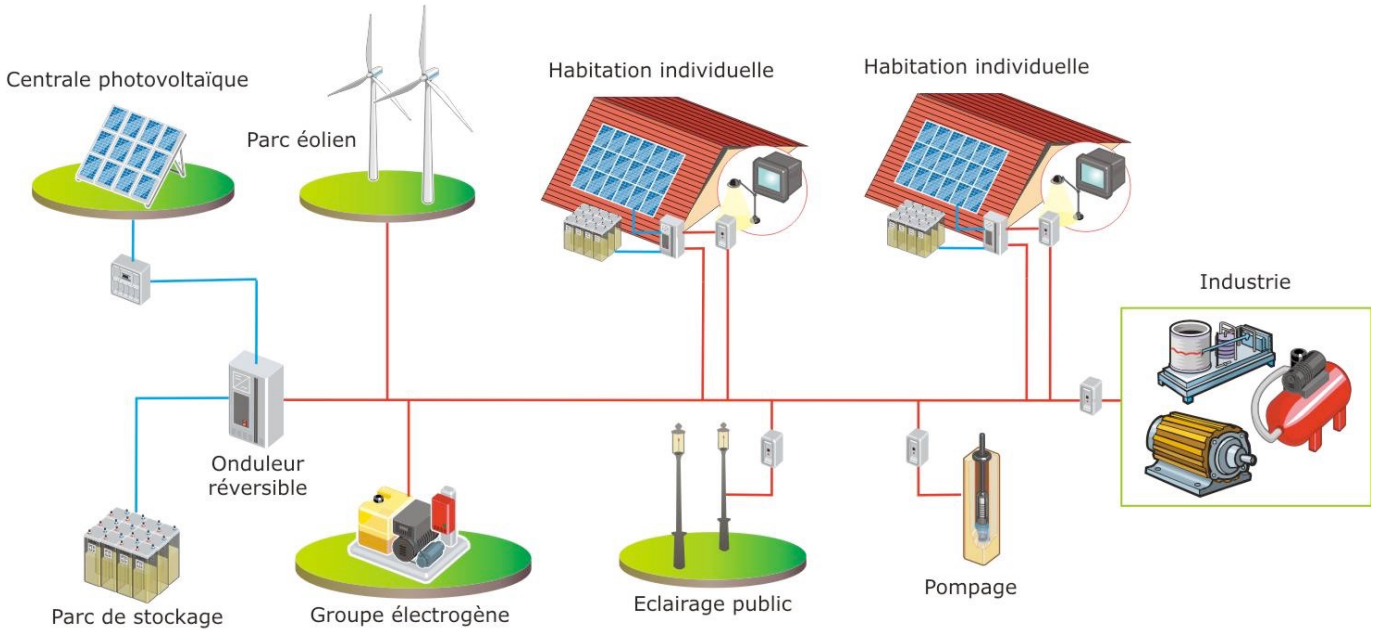


La production énergétique, les réseaux et les collectivités



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Les systèmes hybrides (électrification villageoise)



Cout d'une installation

- ***500 Wc (2 panneaux)***
  - *: autoconsommation – 800 à 1200 euros*

- ***3 kWc (14 panneaux)***
  - *production et revente – 8 000 euros à 12 000 €*
  - *Revente : environ 600 € /an*

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Exemple : Plaine Sud Energie

Etude de faisabilité : ARDES

3 bâtiments ciblés : les écoles de Bourguébus, St Aignan-de-Cramesnil et Garcelles-Secqueville.

Exemple : Plaine Sud Energie

Financement **:** citoyens, la communauté de communes Plaine Sud de Caen et ses 8 communes, quelques entreprises et association locales, Energie Partagée Investissement, subvention d'investissement de la Région Basse Normandie et emprunt auprès de la NEF

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Exemple : Engagement Citoyen

Michel FREMONT – Courcy (50)

Ouest-France
Jeudi 8 juin 2000

A Courcy, Michel Frémont produit son électricté grâce à 60 panneaux

Le soleil, il en connaît un rayon

Dimanche, Michel Frémont vantait les énergies renouvelables à la guinguette de Trelly. Hier après-midi, place Saint-Nicolas, il exhibait une éolienne. Mais ça fait longtemps qu'il est tombé dans le panneau (solaire). Toute l'électricité de sa maison de Courcy vient de là. Ça marche bien. Très bien, même. Il revend même du jus à EDF!

Visibles de la route, sur la départementale cahotique qui relie Courcy à Coutances, les panneaux solaires de Michel Frémont font miroiter leurs yeux de silicium. Mais s'il vous fait visiter sa maison, à la Houchardière, il gardera sûrement le meilleur pour la fin. Une petite armoire électrique, à la porte de bois, qu'il ouvre d'un air hilare : **« Vous avez déjà vu un compteur qui tourne en sens inverse? »**

Produire suffisamment d'énergie pour sa propre maison (pourvue de tout le confort et l'électroménager classique), c'est déjà un tour de force. Mais arriver à en produire un poil plus et revendre ce surplus à EDF, c'est un comble! **« J'ai 60 panneaux au total sur mes deux sites, le toit du cabanon à l'entrée et le jardin derrière, reliés ensemble. L'énergie n'est pas stockée. Selon que la maison consomme ou pas, ça part ou ça repart dans le réseau ».**

Les « nucléocrates »

Un joli pied de nez aux **« nucléocrates »**. Organisé de longue date. Militant de la première heure, ce sacré coco d'écolo se moque d'avoir pris une veste lors des dernières Cantonnales, sous la bannière des Verts (dont il fait toujours partie). Mais il se souvient que **« déjà, au lycée, je séchais les cours pour aller aux manifs! »** A vélo? Aujourd'hui Michel est électronicien et roule au GPL. À l'hôpital de Saint-Hilaire-du-Harcouët, où il est adjoint technique, il a réussi à faire passer un projet « haute qualité environnementale » pour la construction d'un nouveau bâtiment en 2001. On peut avoir la tête dans la couche d'ozone et les pieds sur terre.

Son installation solaire? **« C'est ma danseuse espagnole, mais au moins, elle me rapporte! »** Au début, tout de même, elle lui a coûté. 75000F au total entre le système initial « Phébus » mis en service en 1994 (ce fut la première centrale photovoltaïque de Normandie) et le second, opérationnel en 1996. Réalisé en récupérant des panneaux d'alimentation d'un pylone d'émission télé laissés à l'abandon dans le Gard... **« Je voulais montrer que le solaire, ça marche aussi en Normandie. Il faut savoir que cela marche à la lumière, pas à la chaleur que l'on ressent. On obtient de hauts rendements en hiver. Et seulement - 30 % de production ici qu'à Nice! ».**

Dominique MORISOT

L'atelier « musique verte » d'AVRIL, hier après-midi place Saint-Nicolas. Cette opération d'information sur l'environnement a mobilisé l'association coutançaise mais aussi le CPIE du Cotentin, le Fayard, les Sept vents du Cotentin, l'Office national des forêts et le Groupe ornithologique normand.

Michel Frémont chez lui, à Courcy, au milieu de ses panneaux solaires. Un militant écolo qui sait garder les pieds sur terre!

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Le recyclage

PETITES QUANTITÉS < 30 À 40 PANNEAUX

Contrôlez votre point de reprise le plus proche sur www.pvcycle.org

Après le démontage ou rénovation, votre désinstallateur apportera les panneaux PV en fin de vie au point de reprise le plus proche.

Les panneaux sont placés dans les conteneurs situés dans les points de reprise.

Une fois les conteneurs remplis, les panneaux seront transportés vers des usines de recyclage. Des conteneurs vides seront livrés dans les points de reprise.

Des nouvelles matières premières sont prêtes à être utilisées dans de nombreux produits.

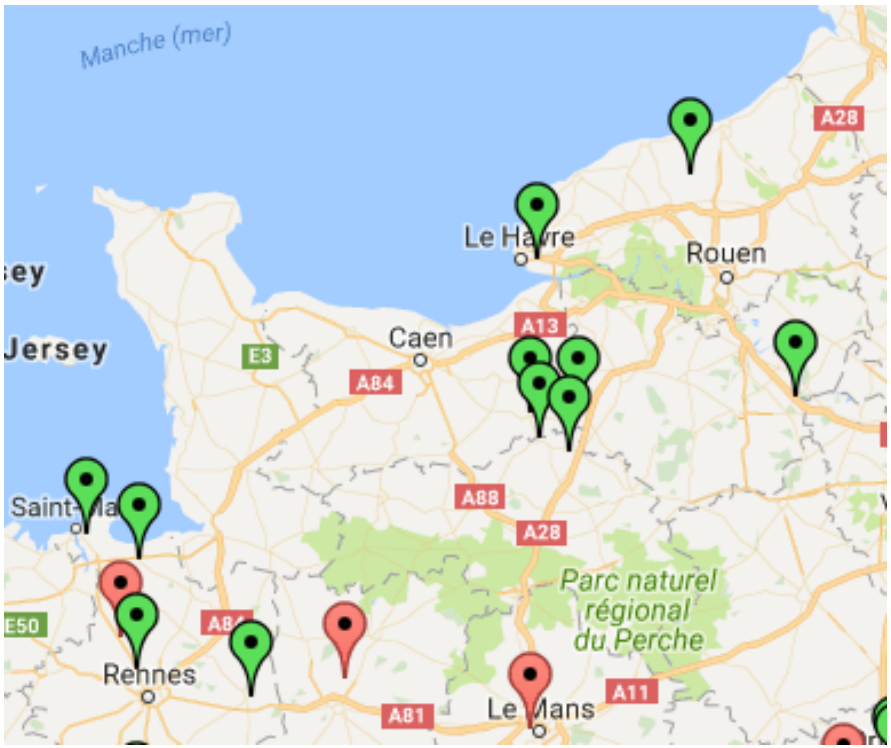
GRANDES QUANTITÉS > 30 À 40 PANNEAUX

Contactez PV CYCLE pour organiser la reprise. Un camion sera envoyé pour transporter vos panneaux PV en fin de vie vers une usine de recyclage partenaire.

Pour des grandes installations et rénovations, les panneaux seront récupérés directement sur site et transportés vers l'usine de recyclage. Des conditions spéciales peuvent être appliquées. Pour de plus amples informations, veuillez contacter PV CYCLE.

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Le recyclage



Apports volontaires < 40 panneaux

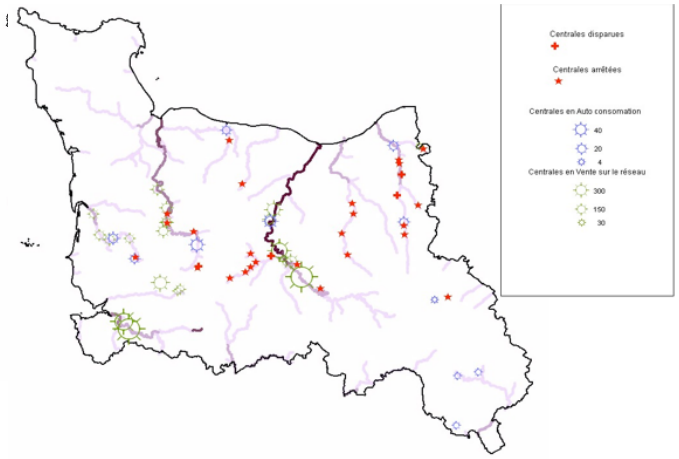
SNA Solar - Tourouvres
Collecteur PVCycle

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

L'Hydroélectricité

État des lieux

Exemple: La production d'électricité d'origine hydraulique en Basse-Normandie. Petite région hydraulique



La grande hydroélectricité :
Usage : production électrique en injection
Potentiel : inexistant sauf marémotrice

La micro, mini et petite hydroélectricité :
Usage : production électrique en réinjection ou en réseau autonome, mécanique

Type	Puissance
Micro	100 kW ou moins – 1 ou 2 maisons
Mini	100 kW à 1 MW – petite usine ou collectivité isolée
Petite	1 MW à 30 MW – production indépendante

En 2013 (Global Chance)

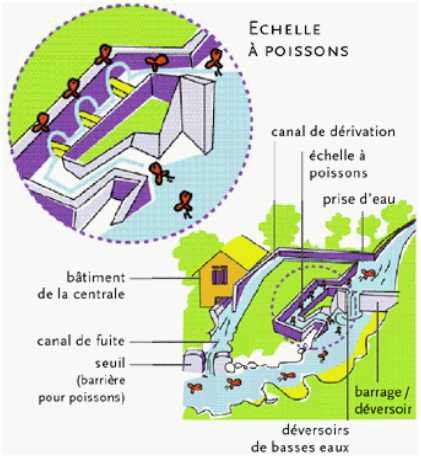
15 g GES / kWh

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

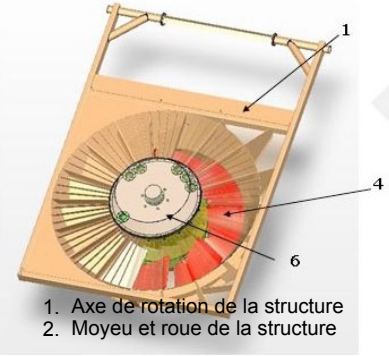
L'hydroélectricité

Potentiel

- Exemple: 3500 moulins ont existé en Basse-Normandie - la réhabilitation de l'ensemble des installations représenterait : 76,5 MW
- Potentiel de réhabilitation : de 3 à 5 MW
- Une prise en compte de l'environnement déterminante pour l'avenir de la production
- Des technologies **adaptées** à développer

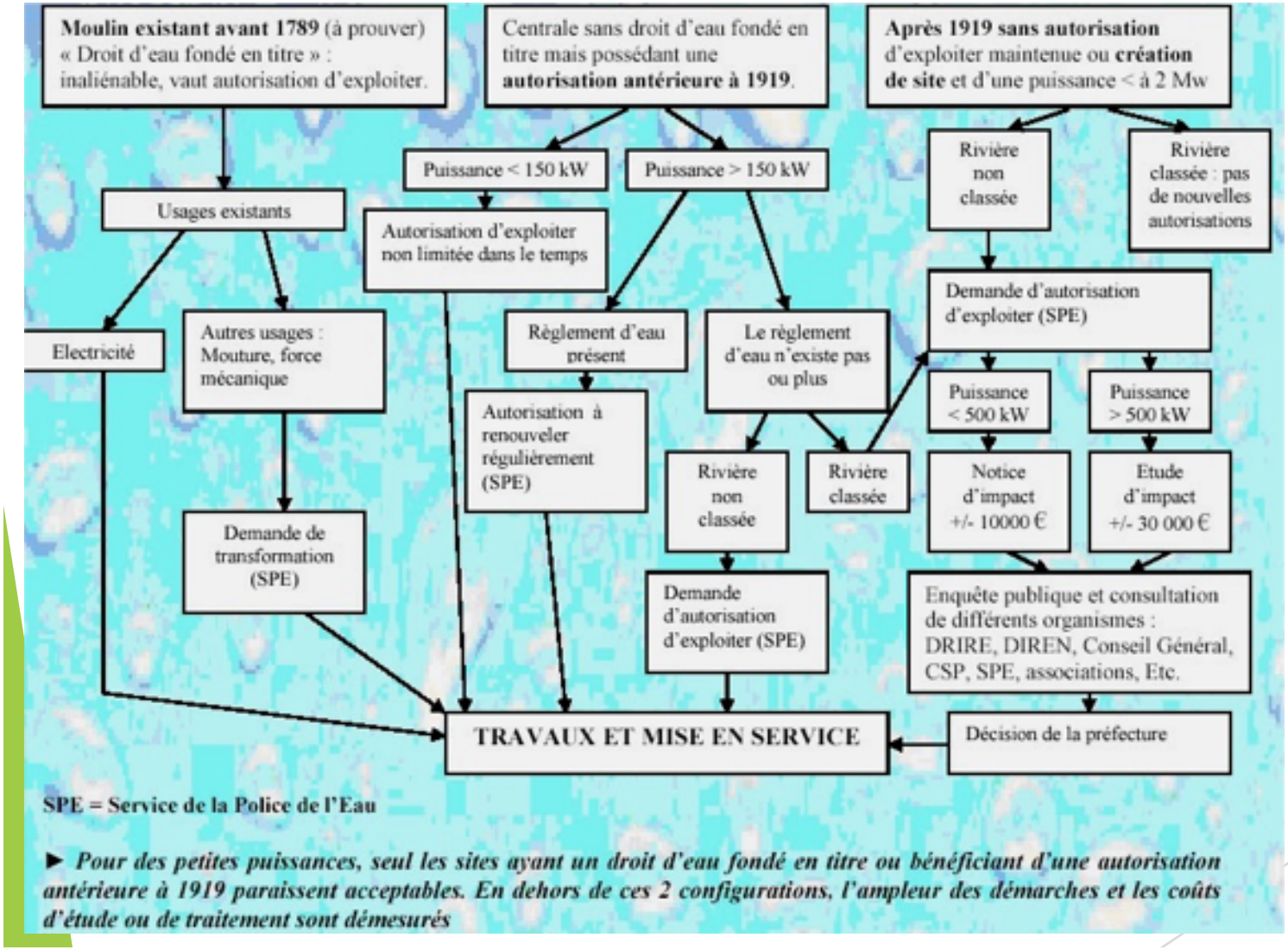


Technologie
"au fil de l'eau"



1. Axe de rotation de la structure
2. Moyeu et roue de la structure

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

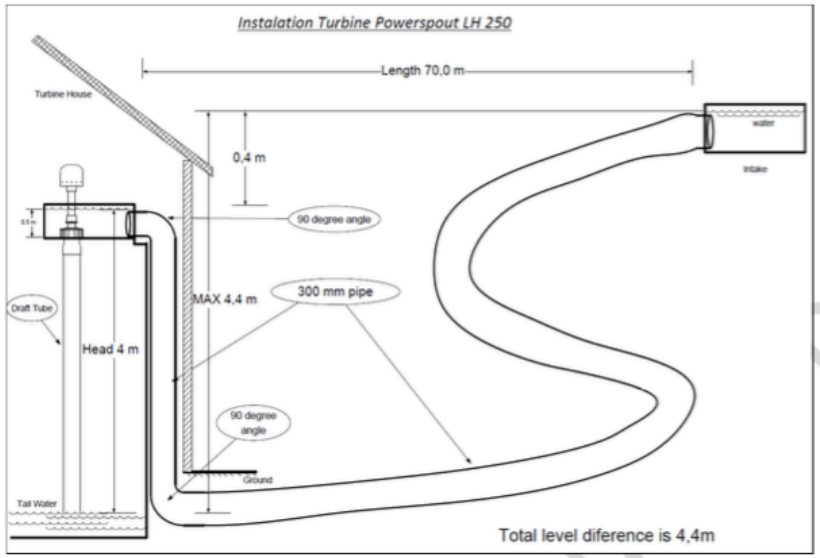


La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Pico hydraulique

Production attendue

- ***Système 150-250 W***
- ***500 kWh à 1500 kWh***

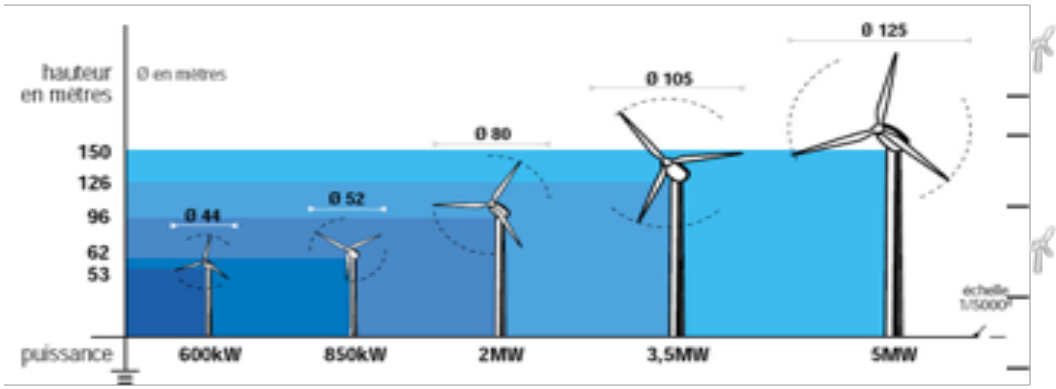


L'éolien

État des lieux

En 2013 (Global Chance)

40 g GES / kWh



Le grand éolien :

Usage : production électrique en injection

26,8 MW installé en Basse-Normandie, 94,2 MW autorisé, 132,3 MW en instruction

+400% sur le Grand Ouest en 2006

L'éolien individuel et urbain:

Usage : production électrique en réinjection ou en réseau autonome, mécanique

Potentiel : limité en raison du marché Français de l'électricité

Diamètre d'hélice en m	Hauteur typique du mât	Puissance de l'éolienne	Utilisations possibles
1	6 m	600W	Bateau, cabane de pêche, caravane
3 à 5	6 à 15 m	1 à 6 kW	Maison de vacances ou habitation « éco »
8 à 10	15 à 35 m	15 à 25 kW	Exploitation agricole, Industriel
20	> 30 m	60 à 75 kW	Industriel

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

L'éolien

Un dispositif administratif contraignant

- La construction d'une éolienne de plus de 12 m nécessite un <u>permis de construire</u> accompagnée :
  - D'une notice d'impact (h>12m, P<2,5 MW)
  - D'une enquête publique (P >2,5MW)
  - D'une étude d'impact (P>2,5 MW ou C>1,83 M€)
- Le raccordement au réseau électrique est soumis :
  - à déclaration si P<4,5 MW
  - à autorisation au dessus
- L'étude d'impact concerne l'ensemble du projet : éolienne et raccordement.
- Grenelle = ICPE !

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Projet citoyen : premier parc Français citoyen – Pays de Redon

4 Eoliennes de 2 MW – Plus d'un milliers de financeurs citoyens

Ces clubs rassemblent 780 personnes + collège des membres fondateurs, l'association EPV et la SARL Site à watts, créée pour encadrer la demande de permis de construire. 250 autres personnes ont investi via le fonds Énergie partagée

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Prêts des banques coopératives : Le pool bancaire qui finance le parc est dirigé par Triodos, une banque belge éthique. D'autres établissements ont suivi : le crédit coopératif, la Nef, BPI France

Pour la gestion du parc, les citoyens ont créé une SAS, nommée Bégawatts.« *Cette formule permet une gouvernance de type collectif.* »

Les éoliennes produisent 20 GWh par an, soit la consommation de 8000 foyers

Photos : Michel Leclerc, membre fondateur de l'association Éoliennes en pays de Vilaine, devant le parc éolien citoyen de Béganne, éoliennes de Béganne / © Nathalie Crubézy et Jean-Paul Duarte, Collectif à-vif(s).

L'énergie éolienne

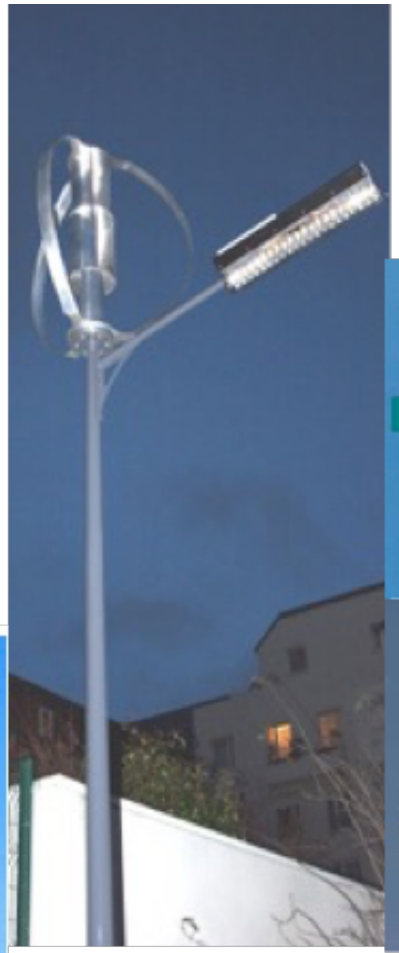
Potentiel

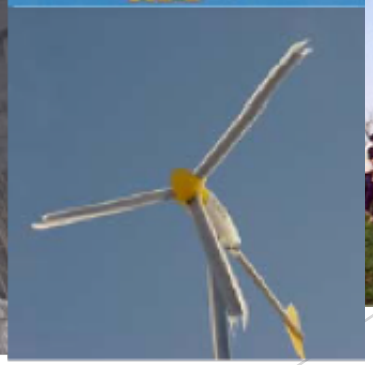
- En 2020, on peut estimer la puissance installée entre 600 à 1200 MW (hors éolien individuel)
  - 1,2 TWh (tendance)
  - 2,4 TWh (dynamique)
- Potentiel Offshore considérable
  - exemple l'Allemagne prévoit 20-25 GW en 2030 et 40 en 2050 avec peu de façades maritimes (soit l'équivalent de 12 EPR!)
  - Potentiel Offshore Considérable

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Petit Eolien

- Nouveau rapport à la ville et au mobilier urbain;
- Appropriation et approche énergétique en ville





La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Les énergies renouvelables

Intérêts en matière d'emploi

Comparaison EnR / EPR

	Economie ou production (Twh électriques)	Coût en millions d'euros	Emplois pérennes
Maîtrise de l'énergie	7,27	1 364	484
Substitution à l'électricité	3.97	697	4 802
Energie renouvelable électrique	11.36	1 090	5 554
Total	**22,6**	**3 151**	**10 840**
Projet d'EPR	**12 à 13**	**3 000 à 3 500**	**250 à 300***

- L'exemple de l'éolien :
  - 2 équivalents temps plein pour 12 MW (maintenance)
  - 1 équivalent temps plein par parc installé (construction)
  - 1 temps plein par MW (industrie)

La géothermie

Généralités

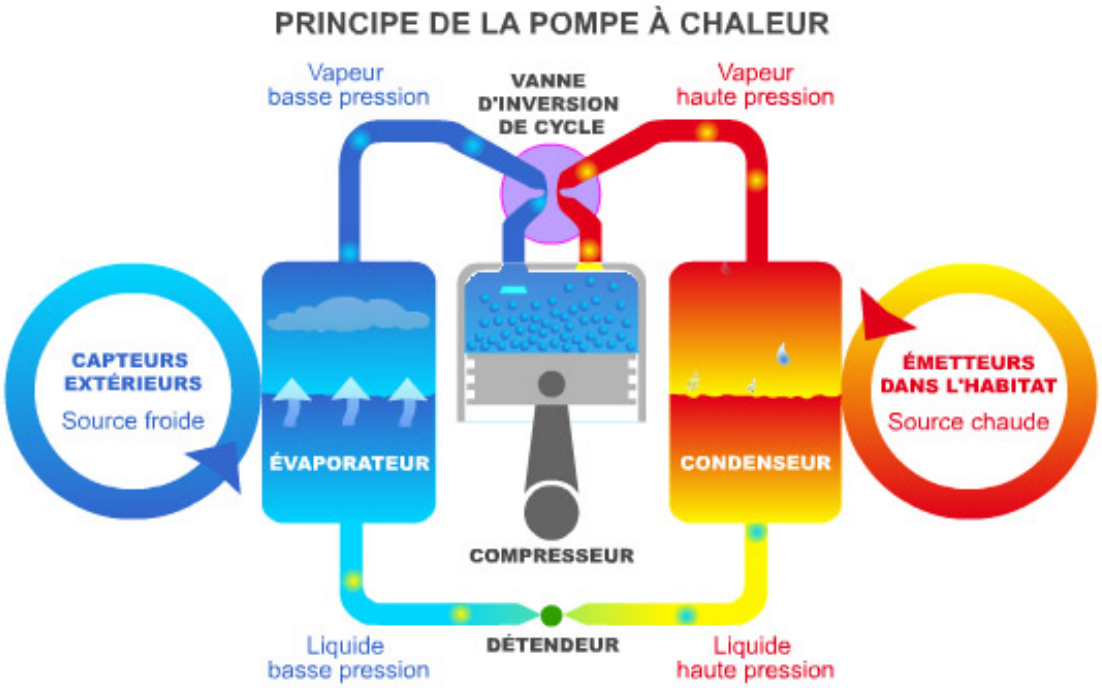
La croûte terrestre est chaude. L'eau infiltrée en profondeur et réchauffée à son contact est utilisée depuis l'Antiquité dans certaines régions pour chauffer les thermes, les serres et les bâtiments : c'est ce que l'on appelle habituellement **la Géothermie**.

Mais ce terme a aujourd'hui une signification plus large : il désigne, plus généralement, l'art de capter l'énergie dans la terre.

En 2013 (Global Chance)

40 g GES / kWh

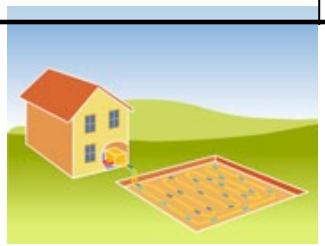
La pompe à chaleur PAC «géothermie » Principe



La Pompe à Chaleur

Les différents systèmes de PAC

Système PAC	Aérothermie	Géothermie	Géothermale
Système	Air/air	Air/eau Sol/eau Sol/sol Captage vertical ou horizontal	Eau/eau Captage nappe phréatique verticale
COP	3 à 4	4 à 5	5 à 6
Type de projet	Maison 90 à 150 m2	Maison 130 à 250 m2	Maison, bâtiments de plus de 180 m2
Prix	11000 à 16000 €	15000 à 30000 €	20000 €...



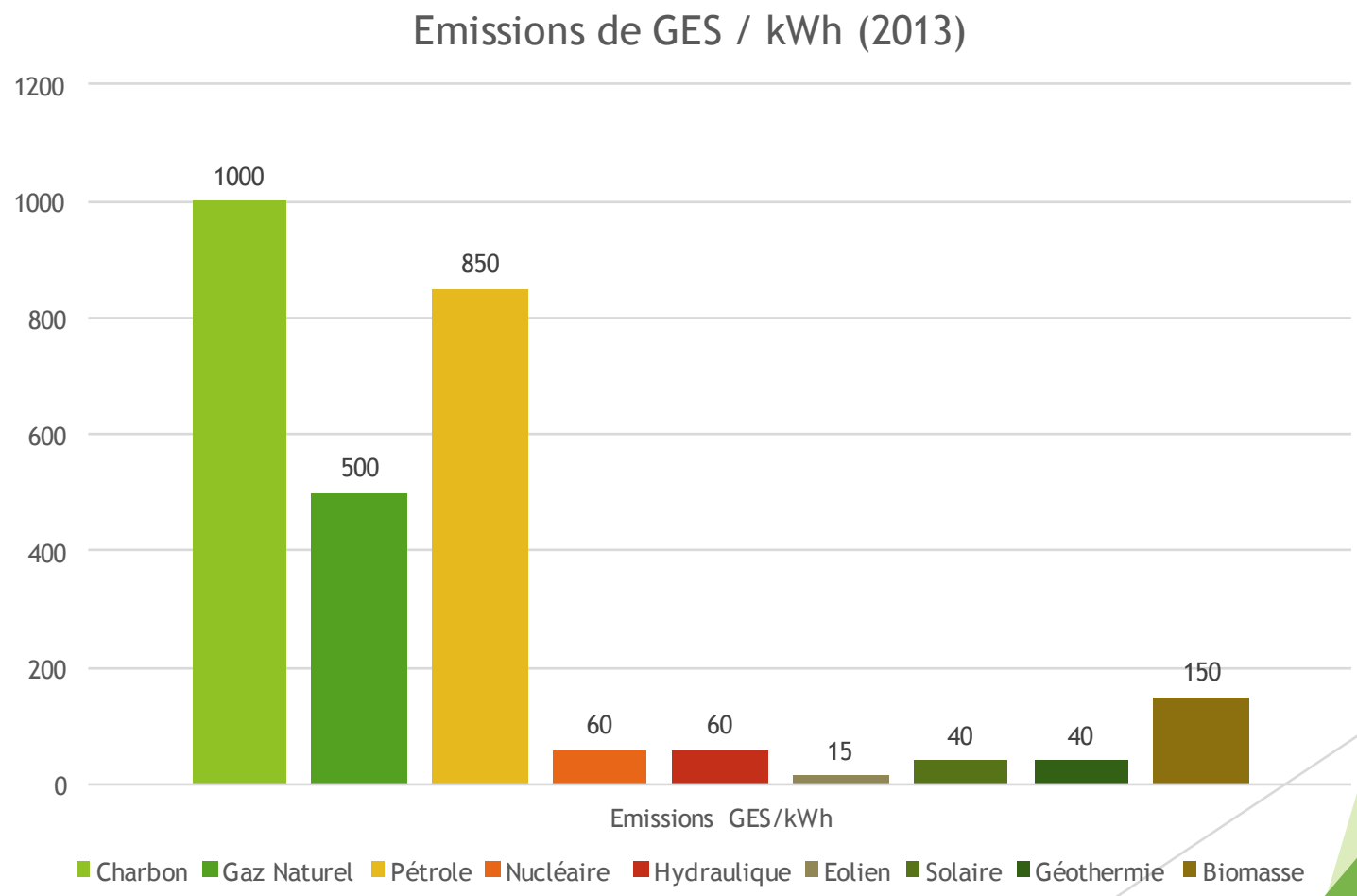
La géothermie

Utilisation

- **Avantages :**
  - Plus économique que les chaudières Fuel, propane, et que les effets Joules.
  - Peu d'entretient.
  - Peu être utilisé comme système de préchauffage.
- **Inconvénients :**
  - Aliéné à des systèmes d'émission de chaleur basse température pour garder un bon COP, rendement.
  - Fonctionne à l'électricité.
  - Très sensible à installer.
  - Rarement compatible avec la restauration ou le remplacement de systèmes de chauffage moyenne température

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

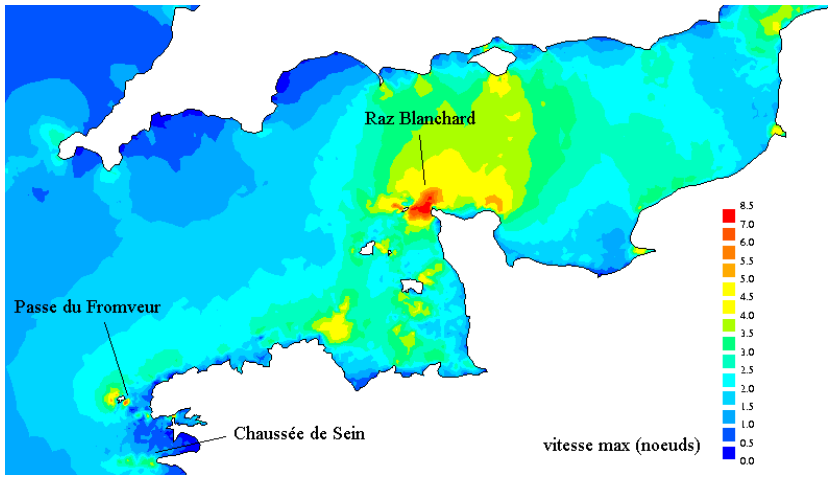
Synthèse GES/kWh



Les technologies d'avenir

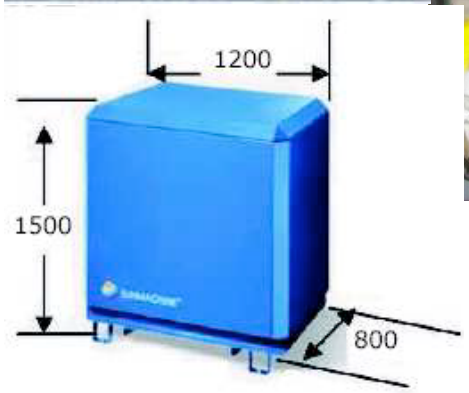
Potentiel de développement

- L'éolien offshore,
- Les Hydroliennes
- La Pile à combustible
- Le procédé Fischer Tropsch - La Gazéification, le Stirling, etc.



Les technologies d'avenir

Moteur Stirling



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Energies de la Mer

Exploitation des énergies de la mer sous différentes formes :

- Energie marémotrice
- Energie des courants
- Energie des vagues (houlomotrice)
- Energie thermique
- Energie osmotique
- Energie éolienne offshore

Energies de la Mer

Avantages / inconvénients

Avantages

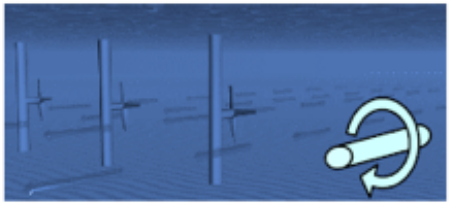
- Plus prédictibles (courant, marées)
- Voire production continue (ETM, Osmose, Algues)
- A priori moins de contraintes d'espace
- Gros potentiel

Inconvénients

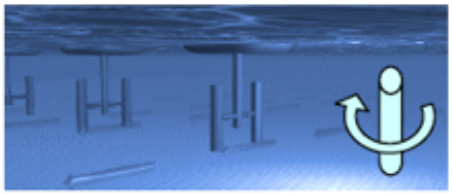
- Impacts potentiels sur l'environnement (vie marine)
- Compétition d'usage (marins, trafic maritime, aspect visuel…)
- Milieu hostile (Conditions météos, salinité…)

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

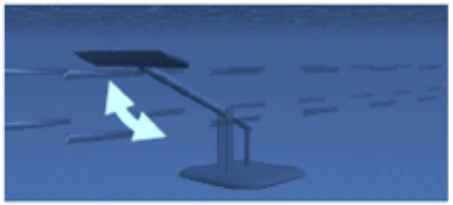
Hydrolien



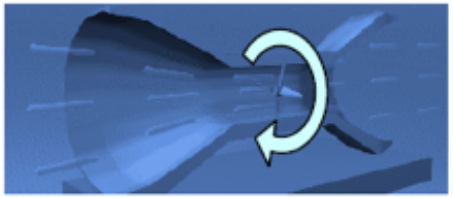
1) Les hydroliennes à axe horizontal, qui fonctionnent à l'image d'une éolienne ;



2) Les hydroliennes à axe vertical ;



3) Les systèmes à hydrofoils ;

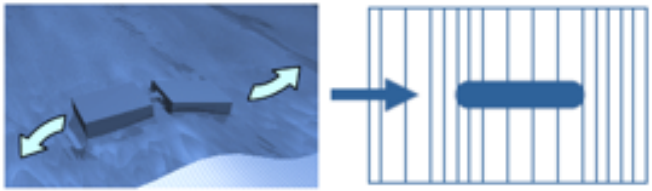


4) Les hydroliennes qui exploitent « l'effet Venturi », c'est-à-dire l'accélération d'un fluide dans une conduite dont le diamètre se rétrécit.

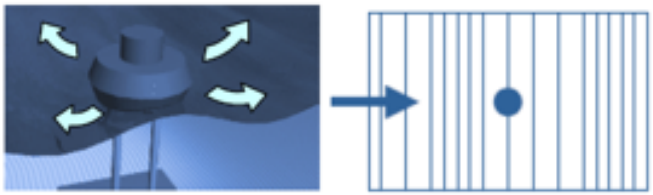
La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Energie des vagues

- les flotteurs :

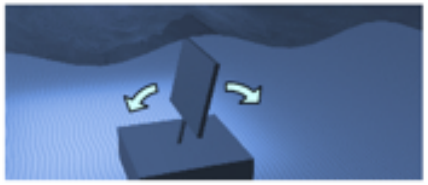


1) de type « atténuateur » : il s'agit d'un flotteur perpendiculaire à la direction des vagues

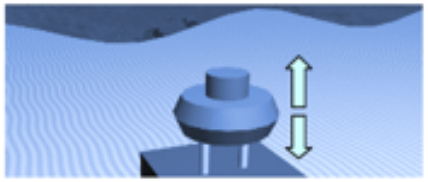


2) de type « absorbeur » : il s'agit d'un flotteur capable d'absorber l'énergie dans toutes les directions

- les systèmes immergés :



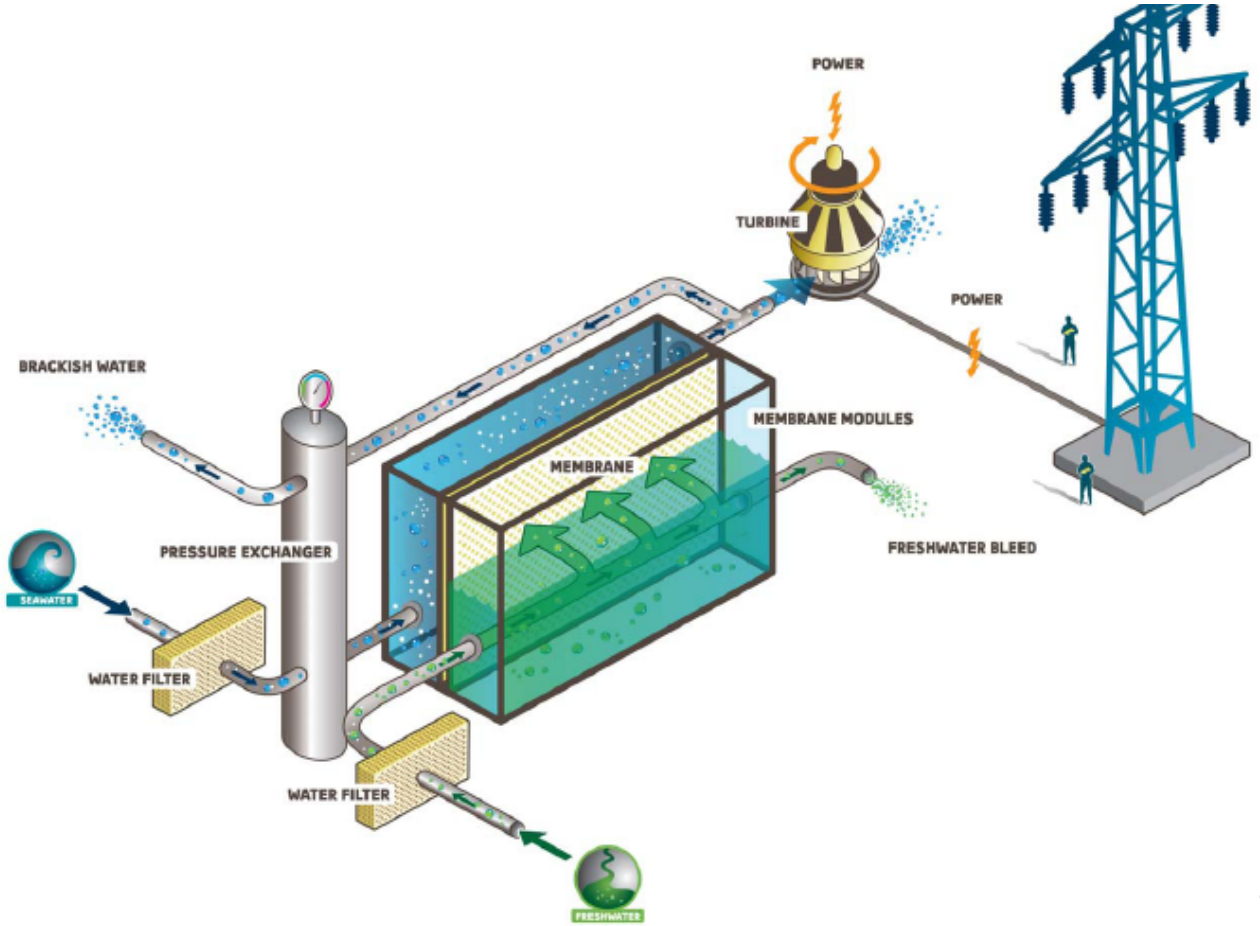
1) de type « oscillateur » : un volet monté sur un bras articulé oscille avec les vagues



2) de type « pompe » : la différence du niveau de la mer provoque une différence de pression dans un piston.

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

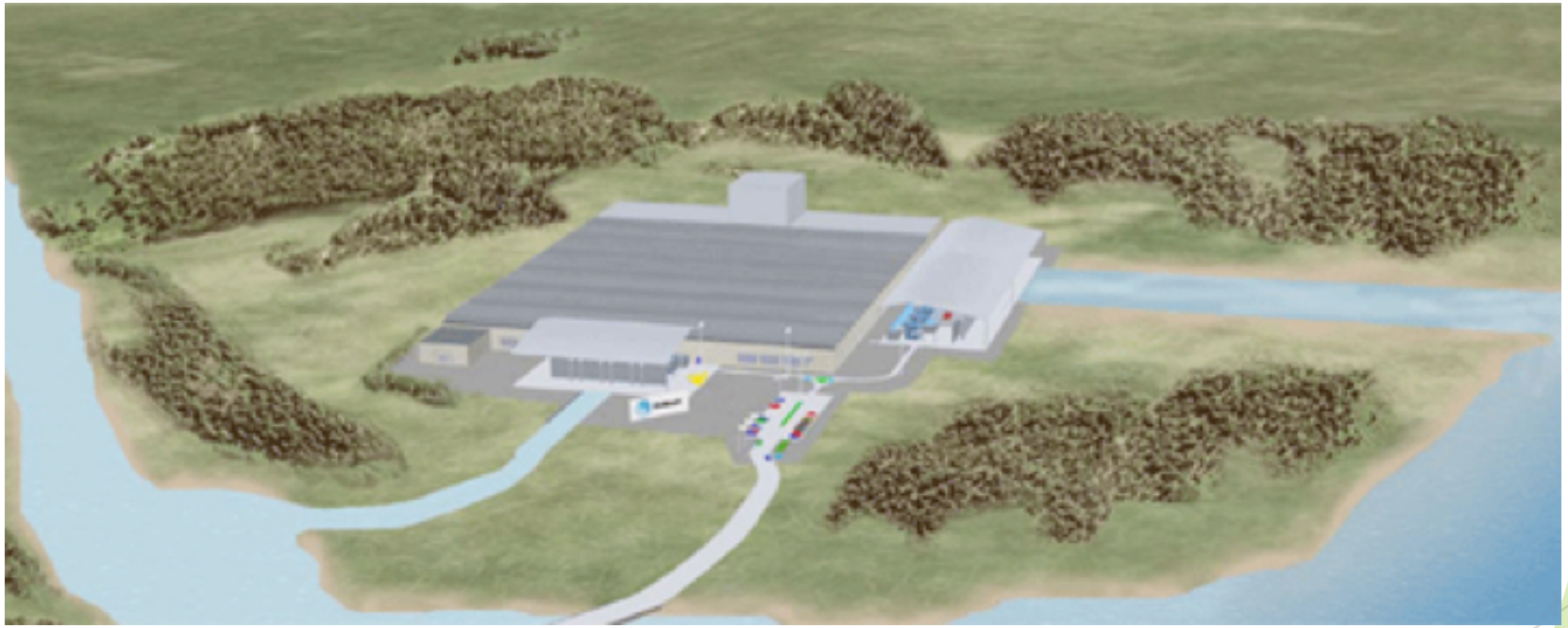
Osmose



Statkr

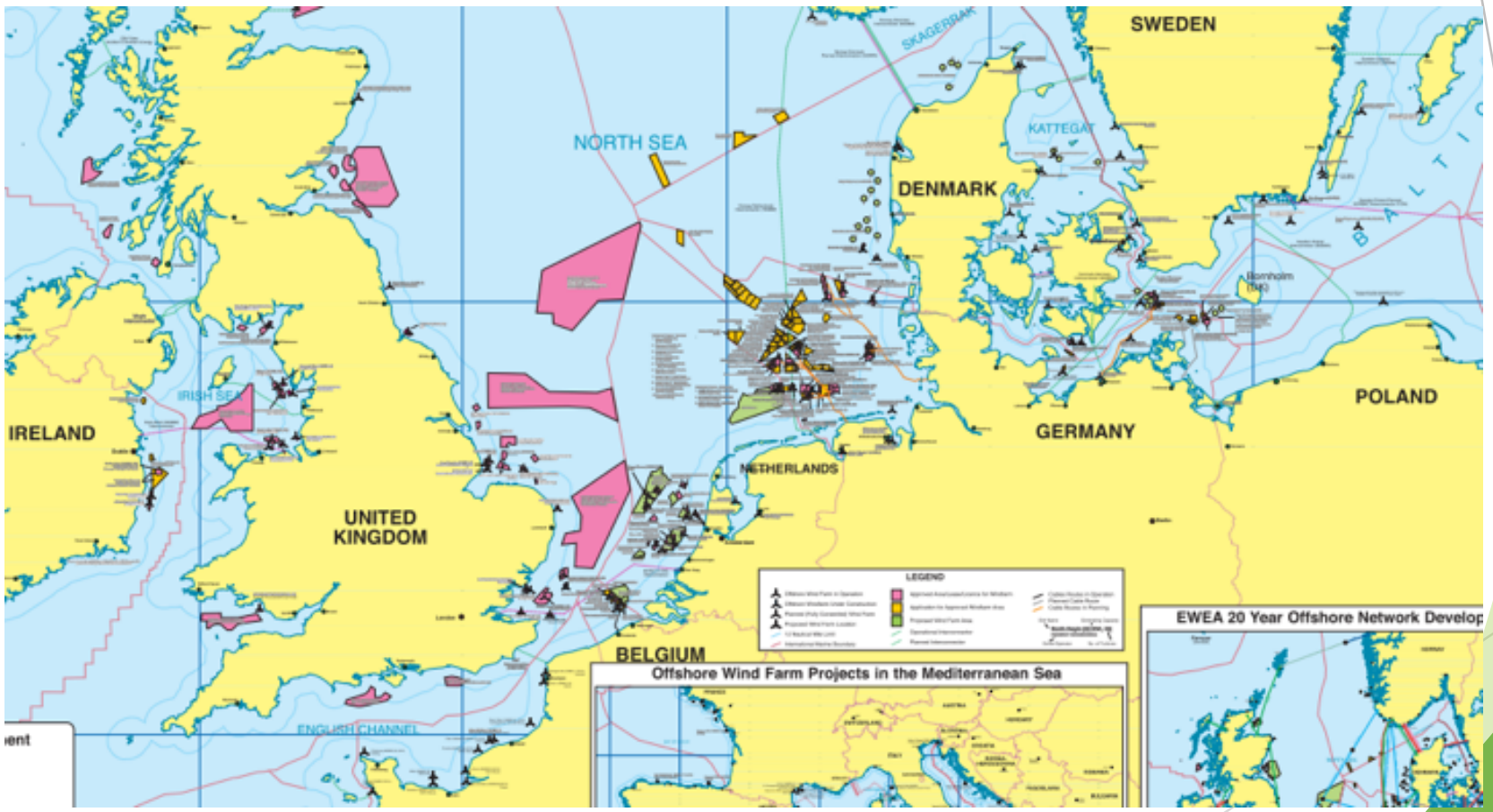
La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Osmose



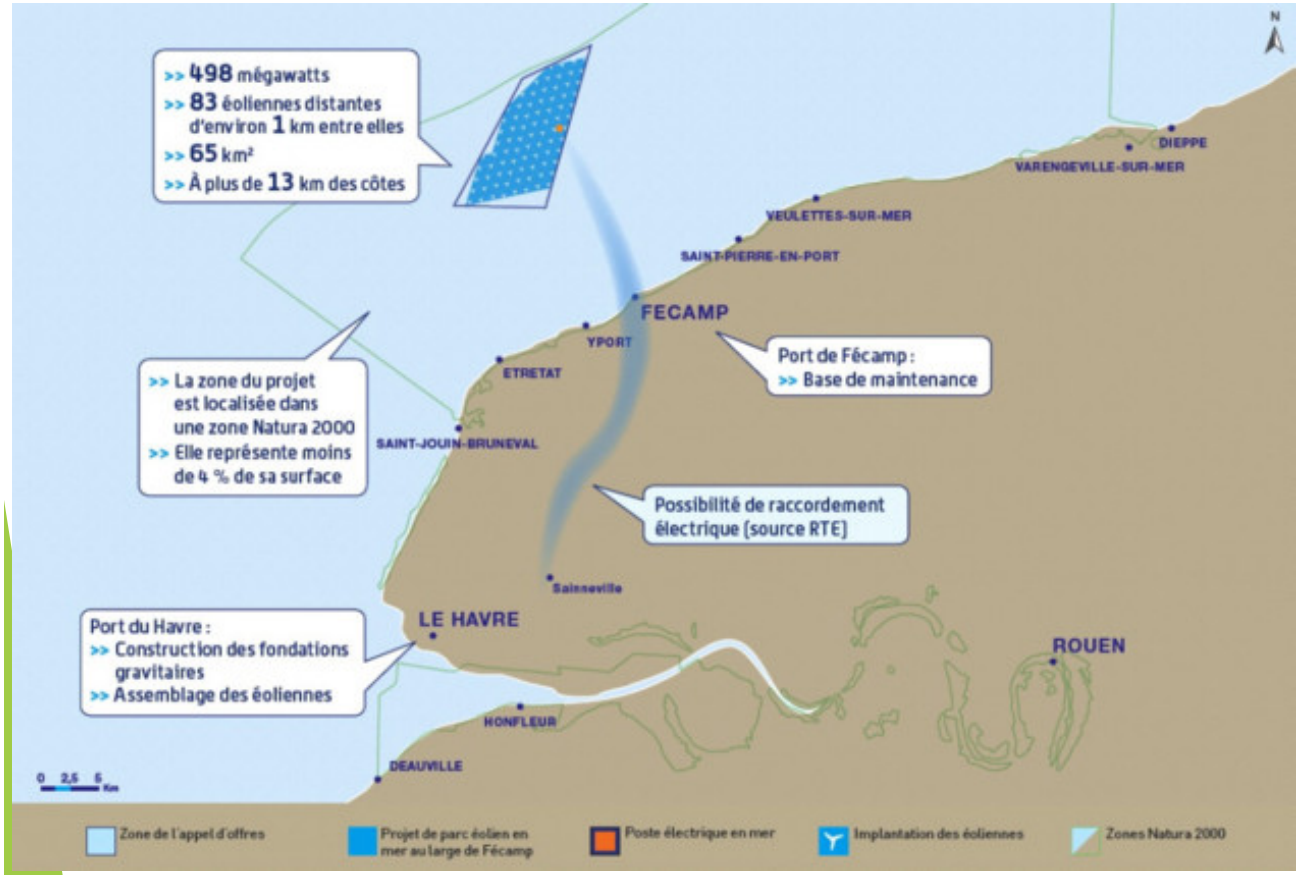
La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Eolien Offshore



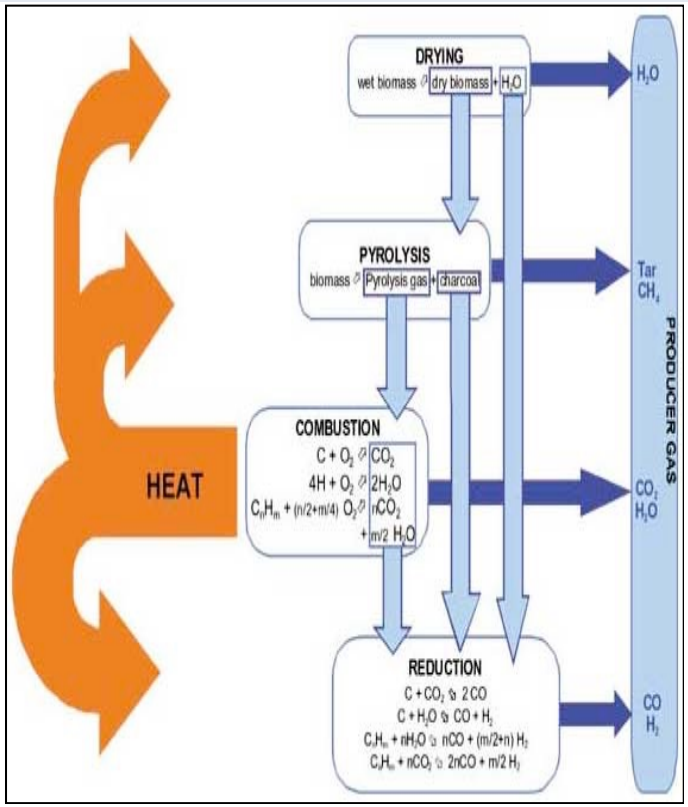
La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Eolien Offshore



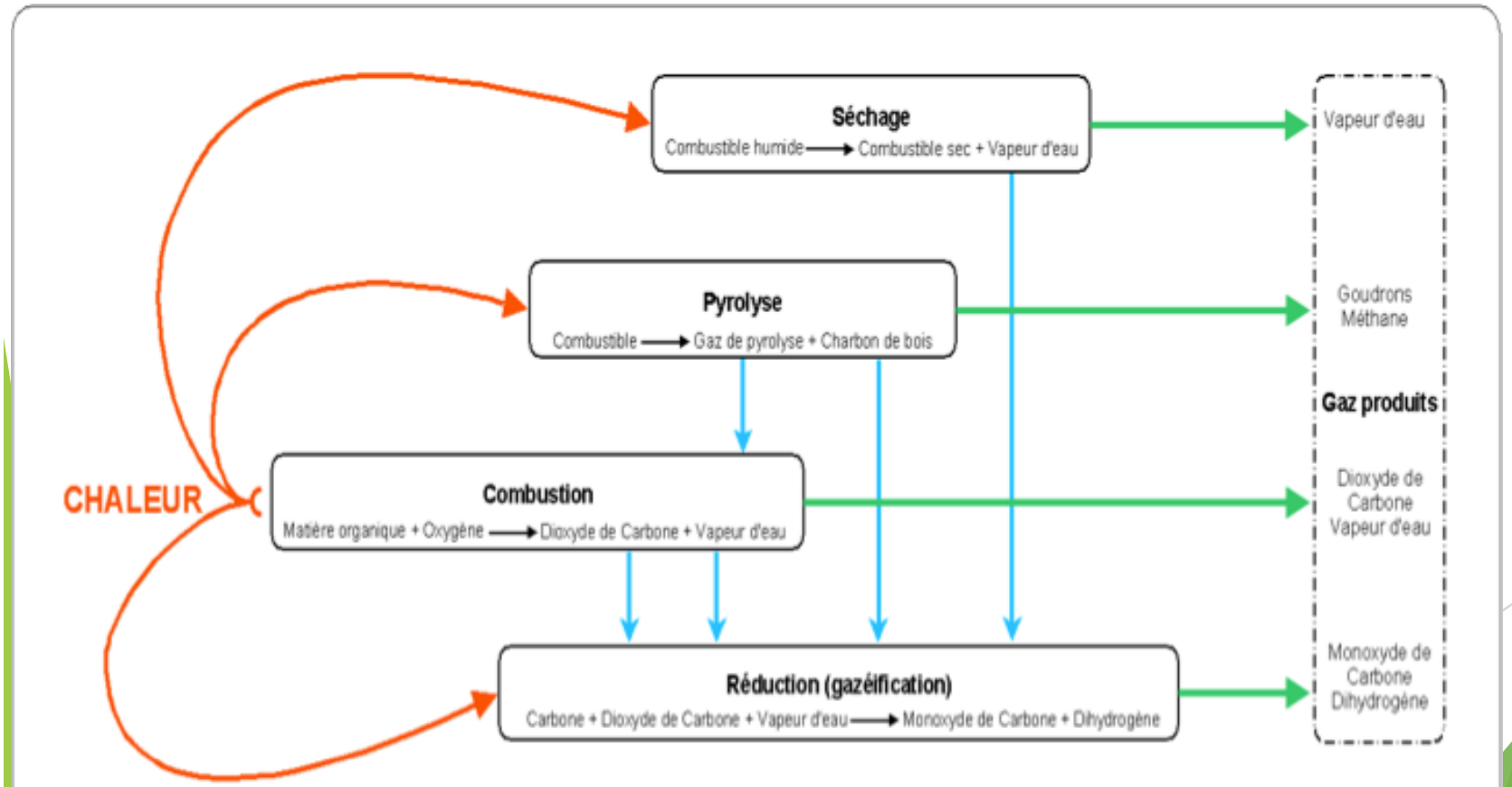
La Gazéification

- Production d'un gaz combustible à partir de biomasse
- Rendement électrique accru
- Applications multiples
  - Cogénération
  - Hydrogène
  - Pile à combustible
  - Carburants de synthèse



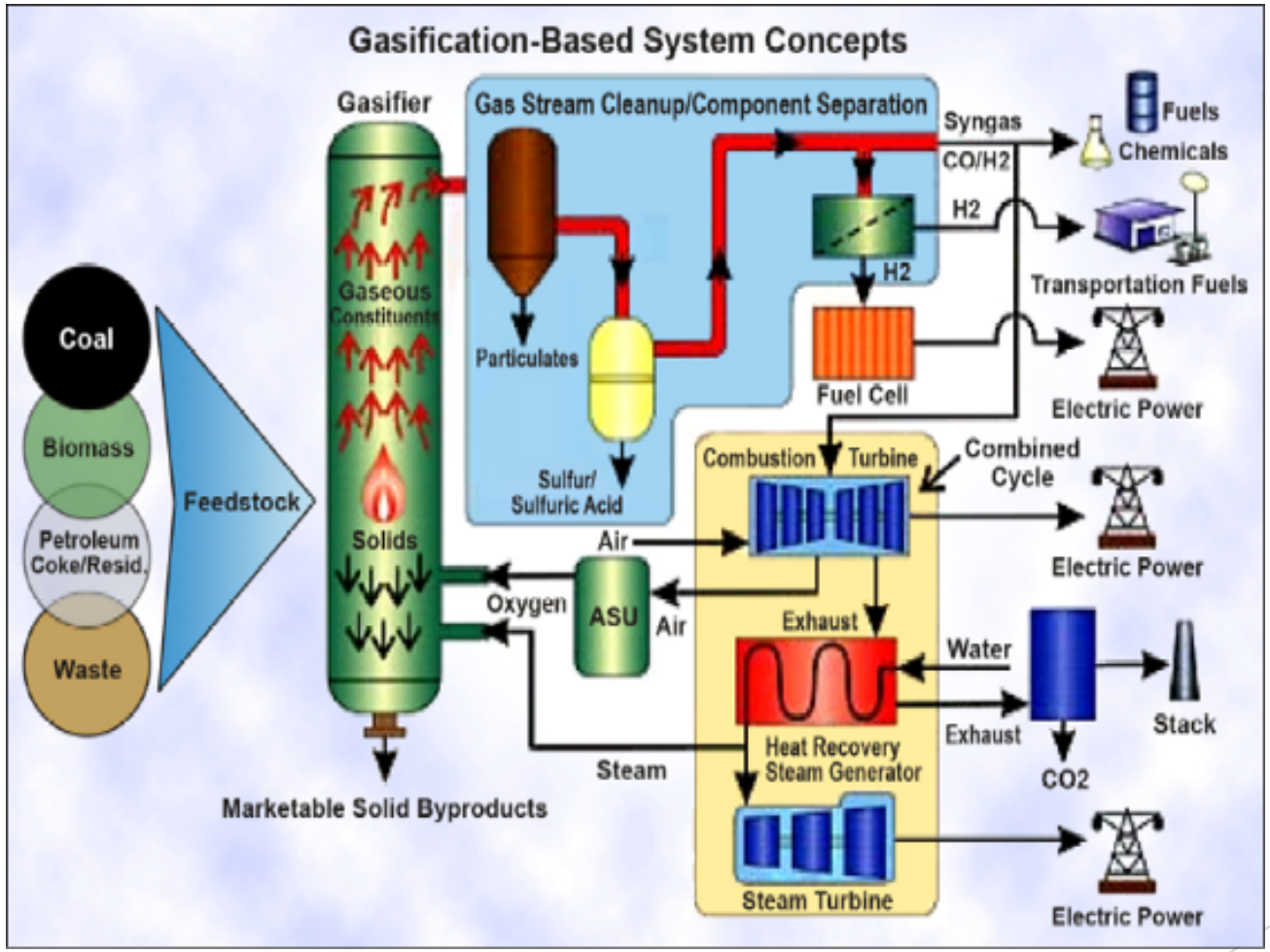
X

La gazéification



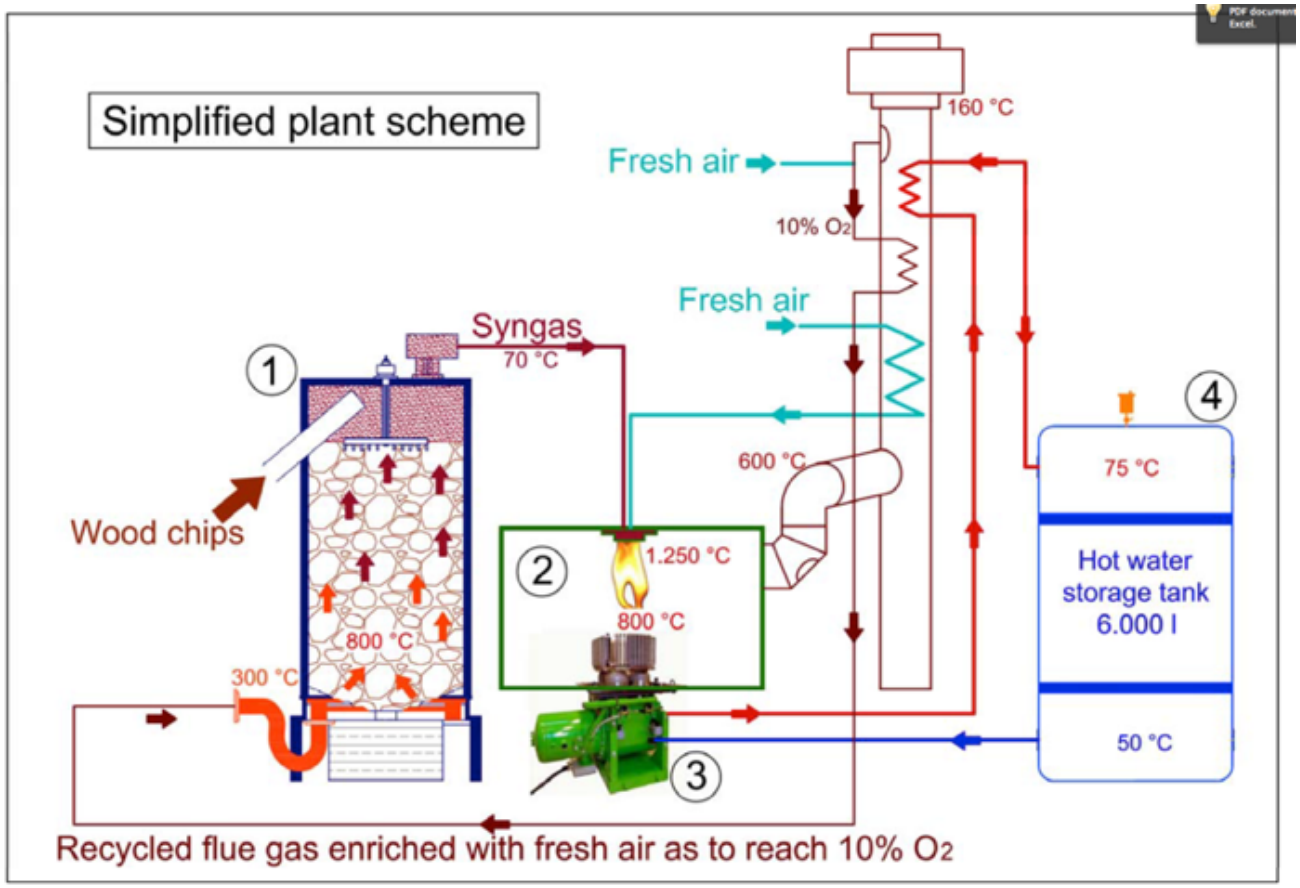
La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Gazéification



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Gazéification et moteur Stirling



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Gazéification et pile à combustible

Sierra Nevada
Brewery, California

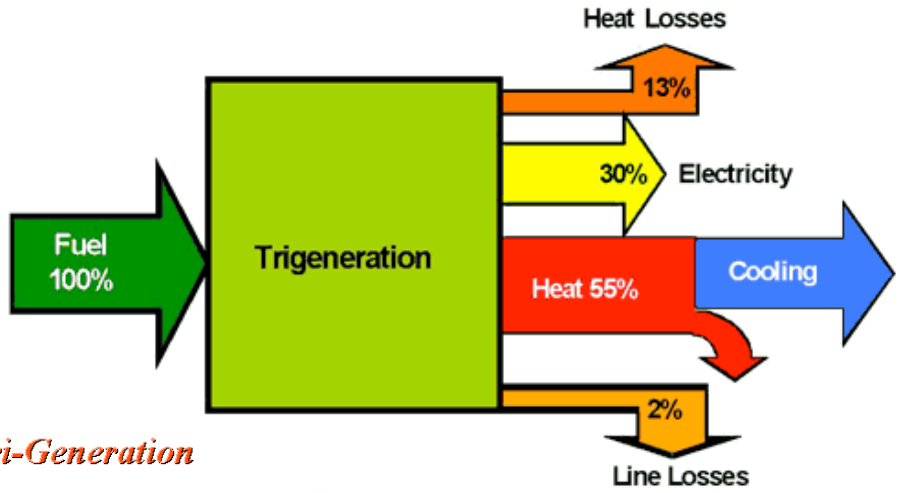
Kirin Brewery, Japan

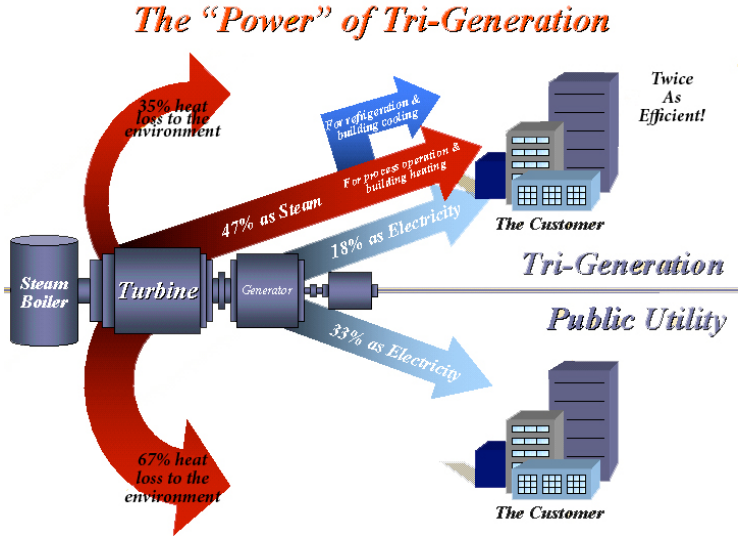
Potential Source Of Renewable Hydrogen

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Trigénération

Trigénération - Port Marianne





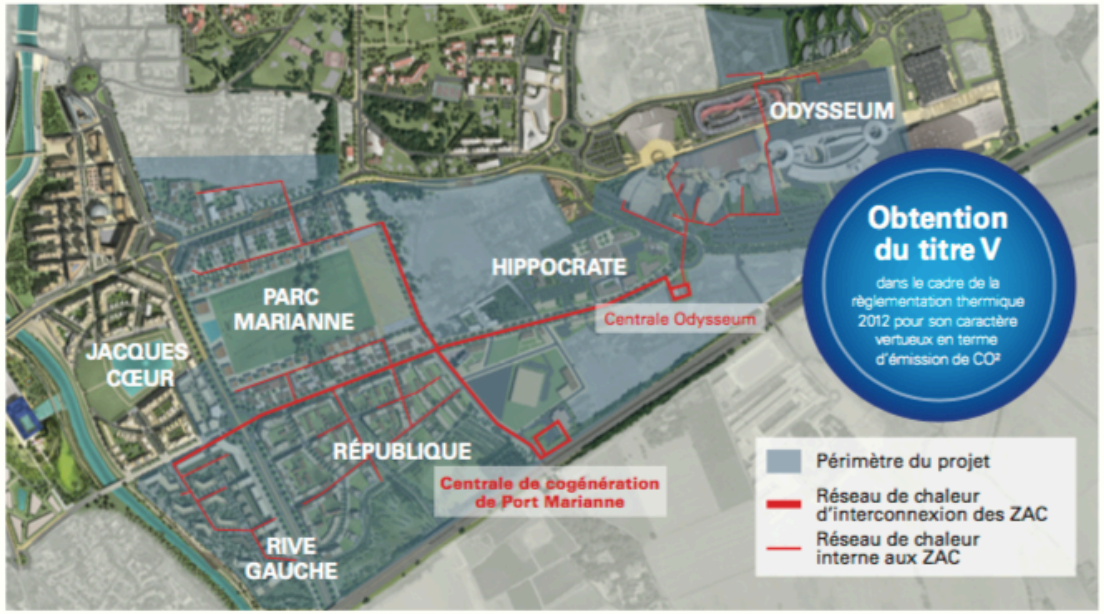
La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Trigénération - Port Marianne

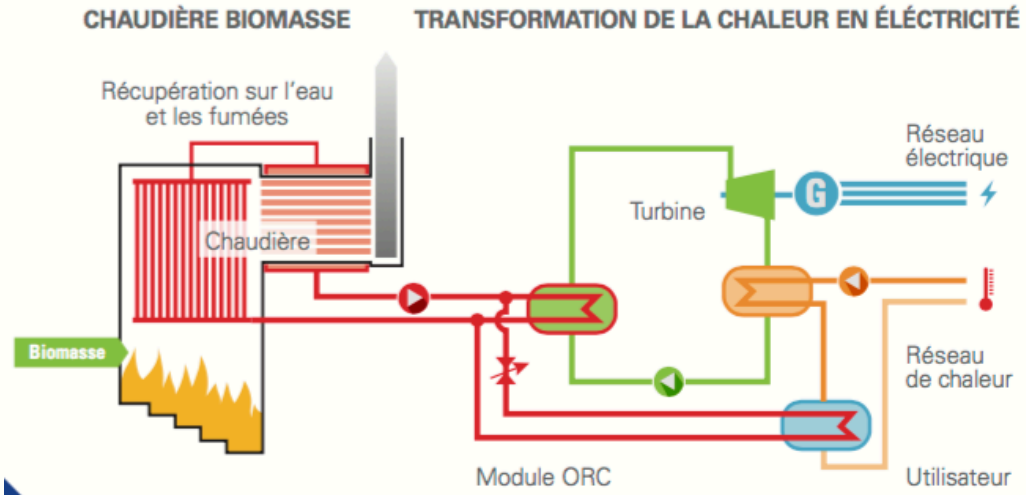
LE RÉSEAU DE DISTRIBUTION DE CHALEUR DE PORT MARIANNE

Le réseau alimente les immeubles pour répondre aux besoins en chauffage, eau chaude et froid de 5 200 logements et 300 000 m² de bureaux, commerces et équipements publics.

Le réseau de distribution de chaleur alimente les immeubles de 6 quartiers de Port Marianne.

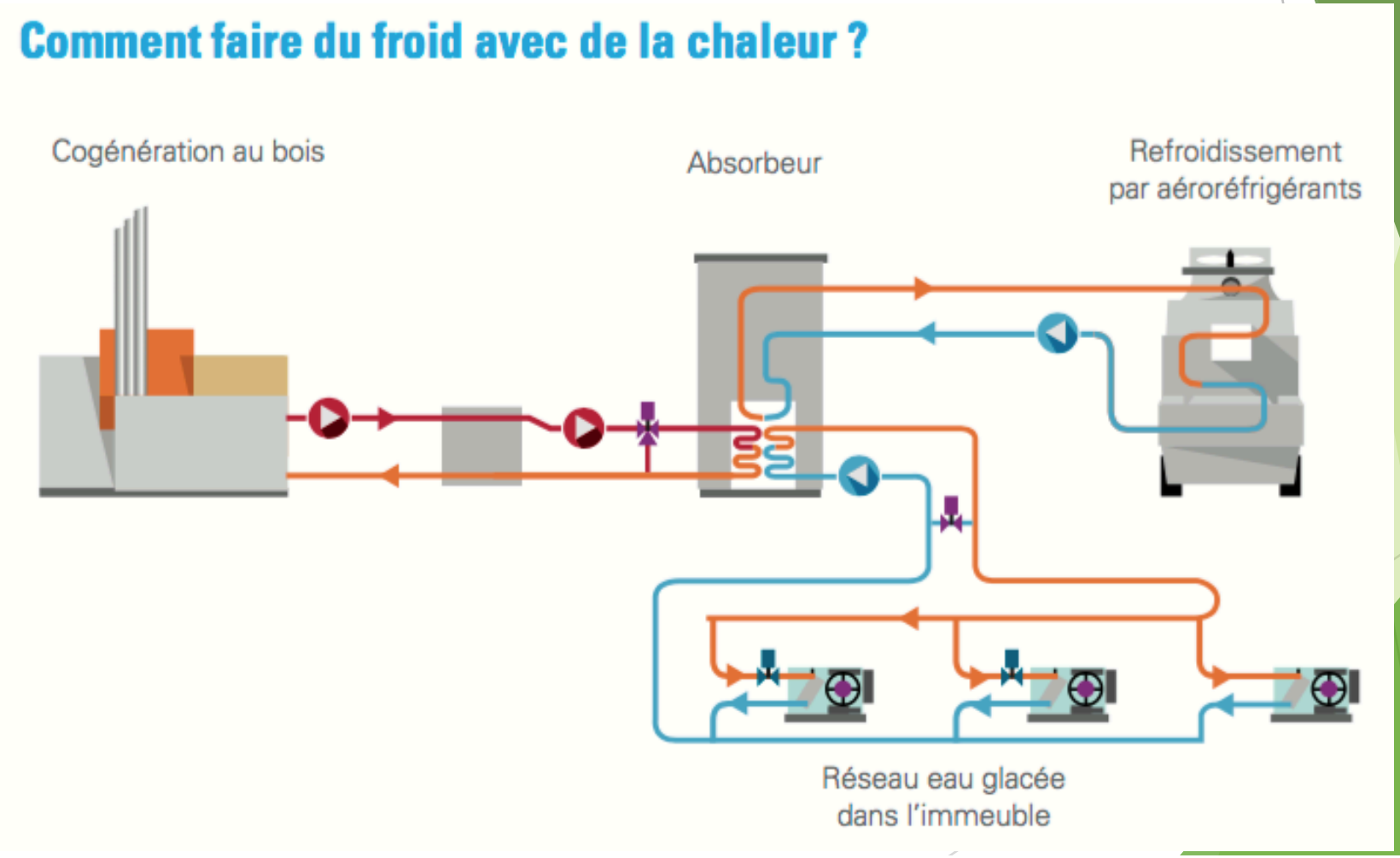


Comment faire de l'électricité avec du bois ?



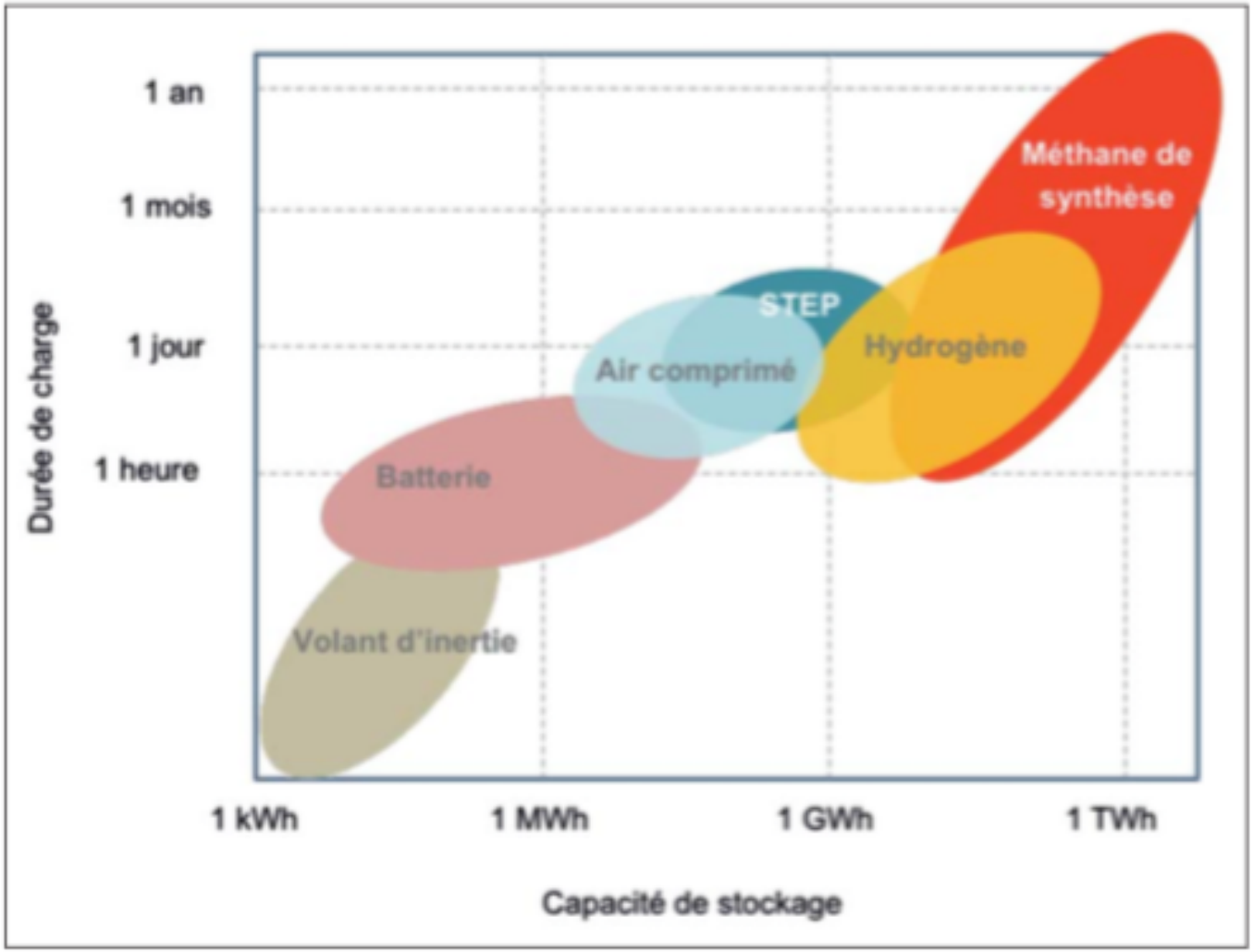
La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Trigénération - Port Marianne



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

L'épineuse question du stockage



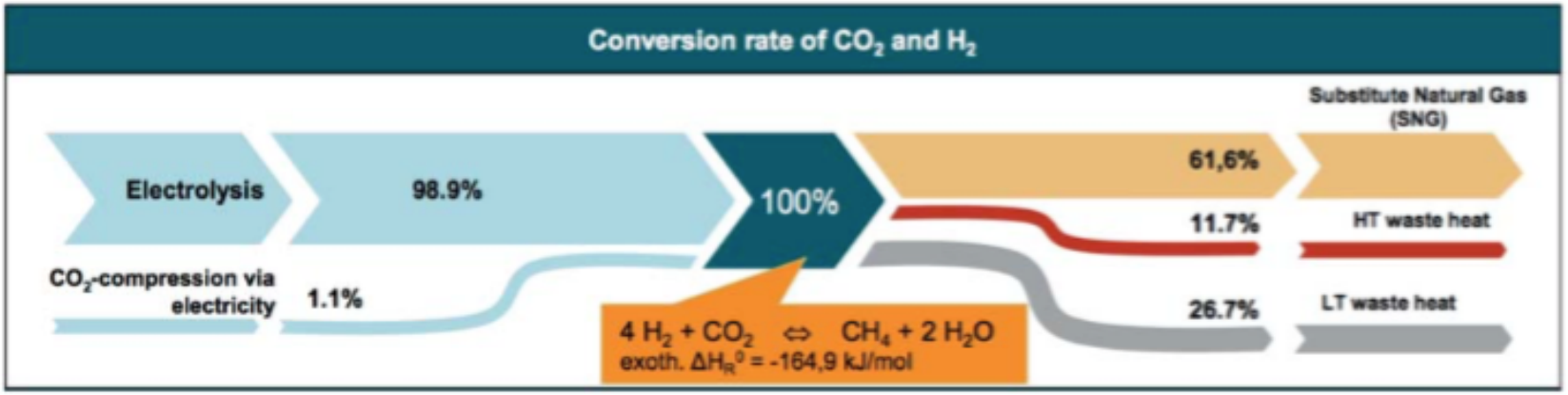
Technologie	Cout $/kWh
Batterie Lead Acid	330
Batterie Sodium	350
Batterie lead acid avec electrode carbone	330
Batterie Zn/Br	400
Batterie Lithium-ion	600
Air Comprimé	5
Pompage hydraulique	75
Roue à inertie	1 600
Supercondensateur	10 000

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Système de stockage - La méthanation -

Découverte par le français Paul Sabatier (Prix Nobel en 1912)

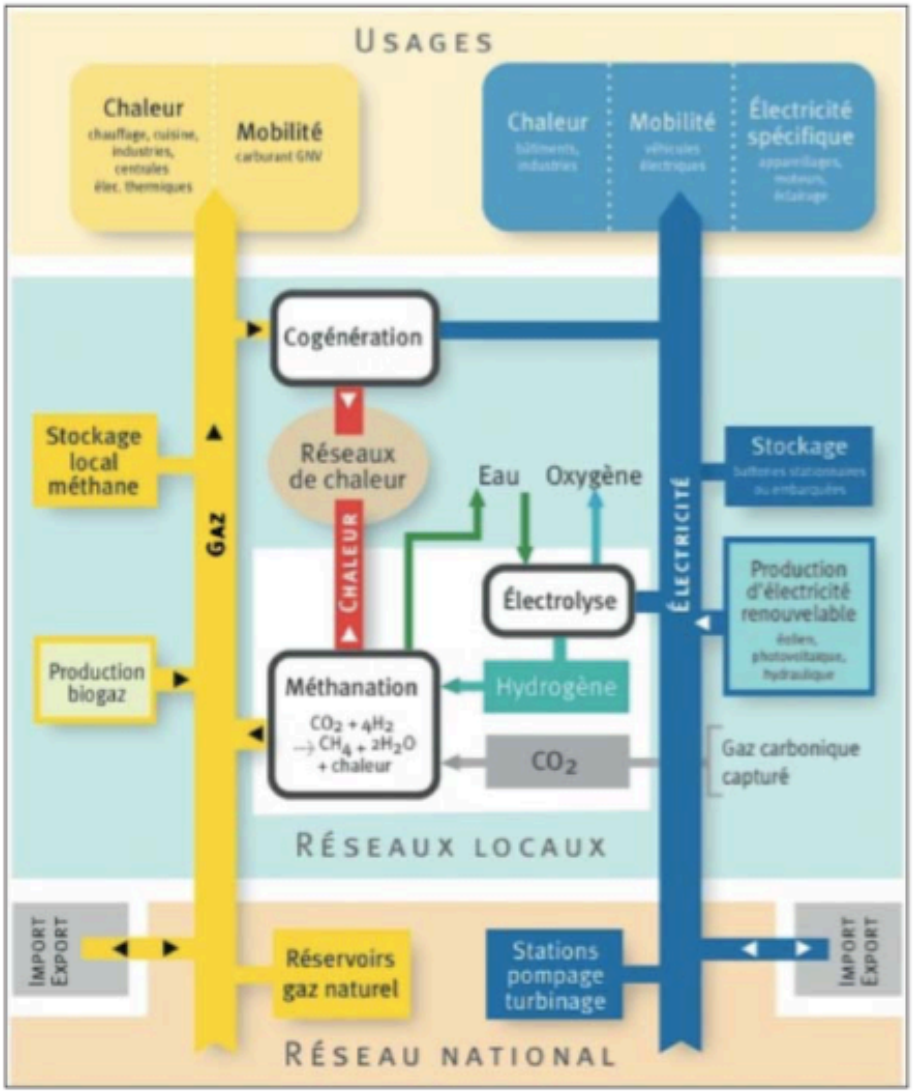
la méthanation est une réaction chimique qui permet de produire du méthane (CH_4) et de l'eau (H_2O) en combinant de l'hydrogène (H_2) et du dioxyde de carbone (CO_2) selon la formule:



Rendement énergétique de la méthanation catalytique (source Etogas/ZSW)

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Méthanation dans le système énergétique (source negaWatt)



La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Exemples de territoire

Fribourg im Breisgau Crédit photos : V. LEVENOK

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Exemples de territoire

SOLUTION INNOVANTES POUR LES COLLECTIVITES

Un laboratoire de mode de vie durable

Réduire l'impact des transports

- **ZedMobiles : zéro énergie fossile**
- **Car sharing : 1 voiture pour 5**

✓ **Groupement des commandes et livraison sur le site**

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

Exemples de territoire

SOLUTION INNOVANTES

Un laboratoire de modes de vie durable

- **BedZED : vivre demain ?**
- **Un site pionnier à 20 mn de Londres**
- **Impact : - 50% empreinte, -90% énergie, -15% budget ménages**
- **Réduction de 40% des GES (16% cogénération CHP, 11% transport, 10% usages courants)**

La production énergétique, les réseaux et les collectivités

L'implication des acteurs un exemple : Le Voralberg

Energieinstitut Vorarlberg

CREATION 1985
Association à but non lucratif
Prestataire de services

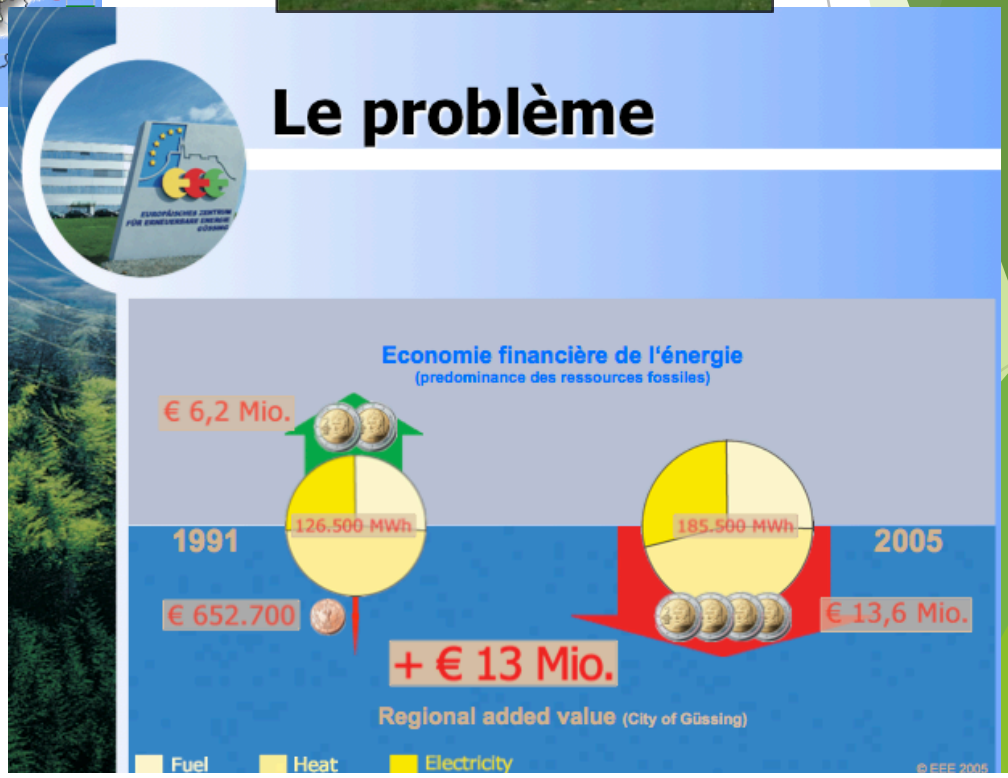
MISSIONS
- recherche et développement
- conseil et soutien
- formation, information, motivation

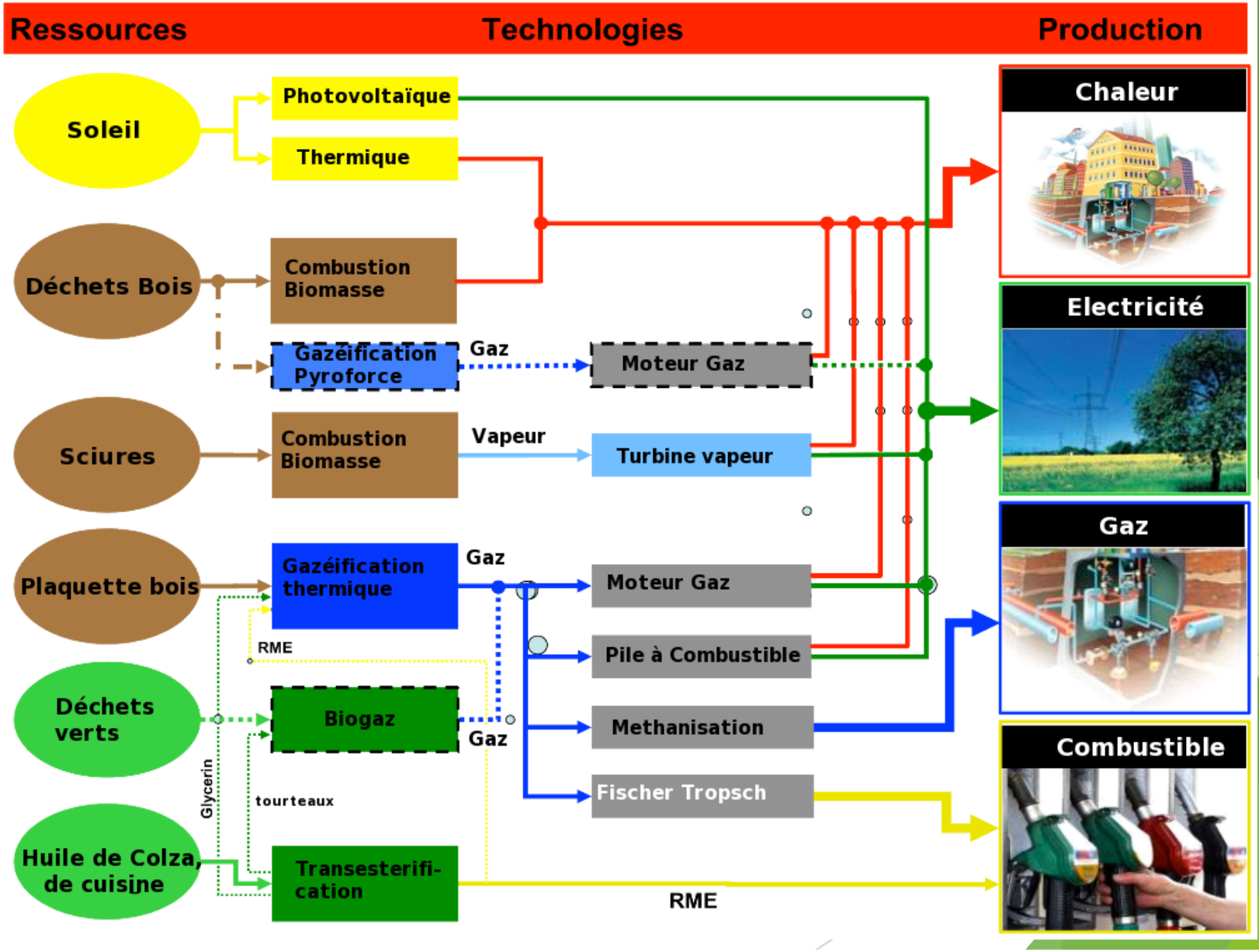
LE VORARLBERG
MODELE ECOLOGIQUE, ECONOMIQUE et SOCIO-CULTUREL

LES ACTEURS
- Le Land
- Les communes
- Les entreprises
- Les associations
- Les particuliers
- Les médias

LES MOTEURS
- L'institut de l'énergie
- Le bureau des questions du futur
- Le cercle de qualité Holzbau-Kunst
- Les autres *clusters*

Exemple : Güssing




Ressources
Technologies
Production
Soleil
Photovoltaïque
Thermique
Déchets Bois
Combustion Biomasse
Gazéification Pyroforce
Gaz
Moteur Gaz
Sciures
Combustion Biomasse
Vapeur
Turbine vapeur
Plaquette bois
Gazéification thermique
Gaz
Moteur Gaz
RME
Pile à Combustible
Déchets verts
Biogaz
Gaz
Methanisation
Glycerin
tourteaux
Fischer Tropsch
Huile de Colza, de cuisine
Transesterifi-cation
RME
Chaleur
Electricité
Gaz
Combustible

Réseau Intelligent ? Micro Grid ? Smart Grid ?

- Quelques définitions
- L'autoconsommation
- Quelques exemples microgrid

RÔLES DES MOYENS DE STOCKAGE

Déplacement temporel d'énergie

- Optimiser le coût de production en diminuant le recours aux moyens de pointe ou en optimisant les achats sur le marché
- Eviter un investissement dans un moyen de production de pointe

Qualité et fiabilité de la fourniture

- Suivi et régulation de charge
- Fourniture de réserve primaire, secondaire et tertiaire
- Réglage de tension
- Amélioration de la qualité de la fourniture (suppression de *voltage flickers* ou d'harmoniques)
- Substitution au réseau en cas de délestage
- Raffermissement/lissage de la production non contrôlable

Optimisation de l'utilisation du réseau

- Gestion de la congestion des lignes
- Evitement/ajournement d'investissements

- Réduction des coupures
- Stabilité, qualité
- Inclusion EnR, VE, ...
- Efficacité, CO2
- ...

- Maturité technologique, standardisation
- Prix CO2, fossile, ...
- Réglementation
- Réponse consommateurs
- ...

«Dilemme» des smart grids: des bénéfices potentiels importants... mais des RSI entravés par des incertitudes multiples

Autoconsommation - Ordonnance n° 2016-1019 du 27 juillet 2016 relative à l'autoconsommation d'électricité.

Autoconsommation Individuelle :

Projet < 100 kWc – excèdent à un tiers ou gratuit au réseau

Autoconsommation collective

*L'opération d'autoconsommation est **collective** lorsque la fourniture d'électricité est effectuée entre un ou plusieurs producteurs et un ou plusieurs consommateurs finals liés entre eux au sein d'une personne morale et dont les points de soutirage et d'injection sont situés sur une même antenne basse tension du réseau public de distribution.*

Le comptage Virtuel est possible, ouvrant la voie à des structurations projets intéressantes.

Exemple - Ile de Eigg - UK

Incitations à l'investissement dans des solutions énergétiques propres:

- distance des cotes : 16 km
- dimensions :
  - 9 km Nord/Sud
  - 5 km Est/ouest
- 90 résidents
  - 45 habitations, 26 commerces, 6 bâtiments publics

Exemple - Ile de Eigg - UK

Avant le programme d'électrification

- Tout le monde était dépendant à sa propre production électrique ;
- Majorité de groupes électrogènes diesel avec quelques petites turbines hydrauliques ;
- Maintenances individuelles
- Aucune production la nuit (bougies)
- Aucune connexion au réseau électrique terrestre

☑ 1er Février 2008, premières étapes du projet d'électrification de l'Ile de Eigg pour toute la communauté.

Exemple - Ile de Eigg - UK

Système schématisé

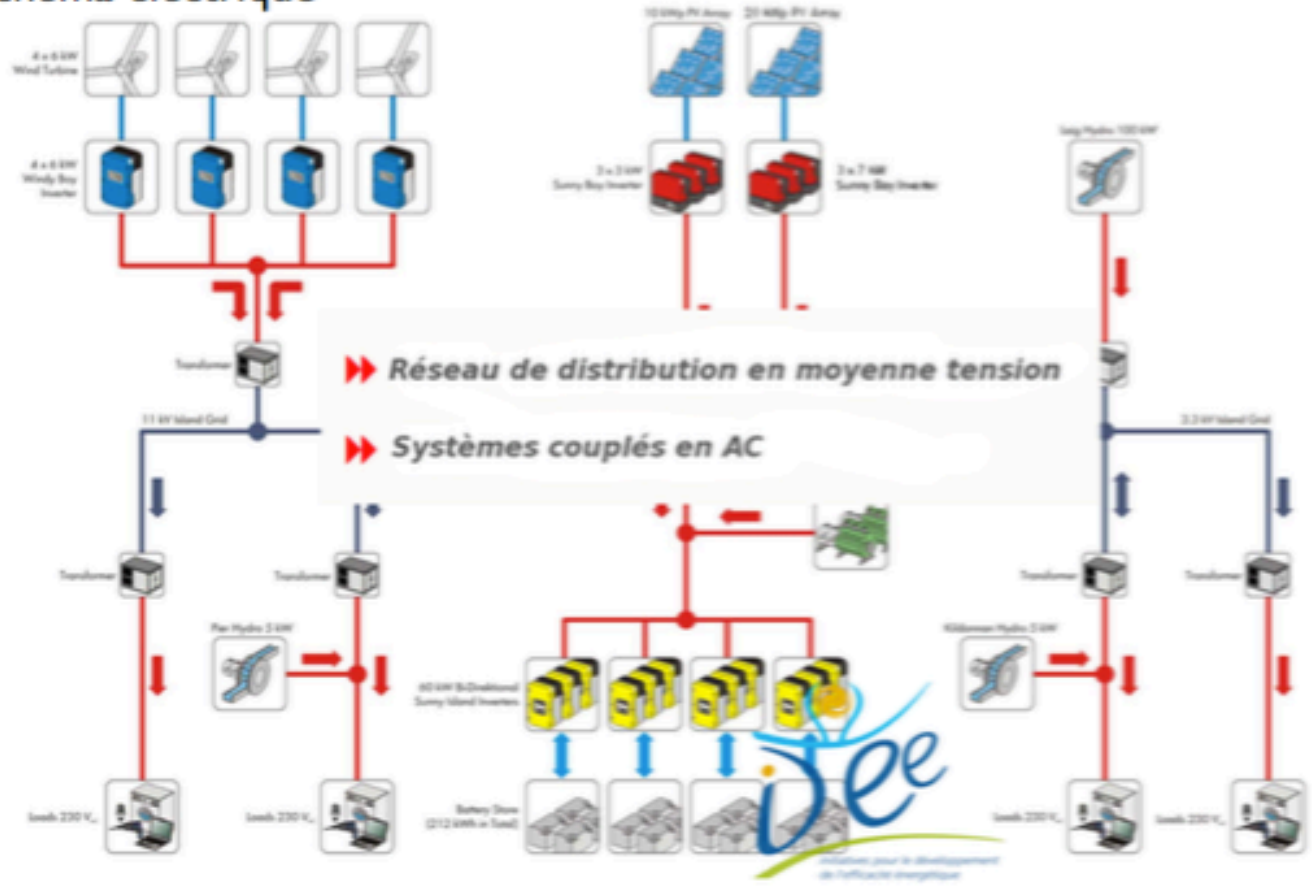
☑ Le système intègre de multiples sources d'énergies renouvelables :

- Hydraulique : 110 kW
- Eolien : 24 kW
- Solaire : 32 kWc

▶ Ces productions énergétiques sont distribuées et couplés à un réseau électrique moyenne tension sur plusieurs kilomètres.

Exemple - Ile de Eigg - UK

Schéma électrique



Exemple - Ile de Eigg - UK

Sources de production : Turbine hydroélectrique

- 3 turbines hydroélectriques : 110 kW
- réprésentent la plus grosse part d'énergie renouvelable de l'ile.

- permet l'autonomie quasiment toute l'année - à l'exception des mois d'été !

Exemple - Ile de Eigg - UK

Sources de production : Eoliennes

- 4 éoliennes connecté à des onduleurs Windy Boy 6000 A
- Puissance totale installée : 24 kW

- produit de l'énergie toute l'année (-à un plus faible niveau en été)

Exemple - Ile de Eigg - UK

Sources de production : Photovoltaïque

- 1er tranche : 10 kWc connectés à 3 onduleurs
- 2nd tranche (03.2011) : 22 kWc avec SMC 7000HV
- Puissance totale installée : 24 kW

▶ produit de l'énergie en complément l'été

Exemple - Ile de Eigg - UK

Unités de contrôle

- 12 Onduleurs hors réseau SMA Sunny Island 5048
- Puissance max : 100 kW
- Batteries : Rolls 212 kWh sous 48 V

- Système de contrôle énergétique

Exemple - Ile de Eigg - UK

Contrôle de charge des batteries

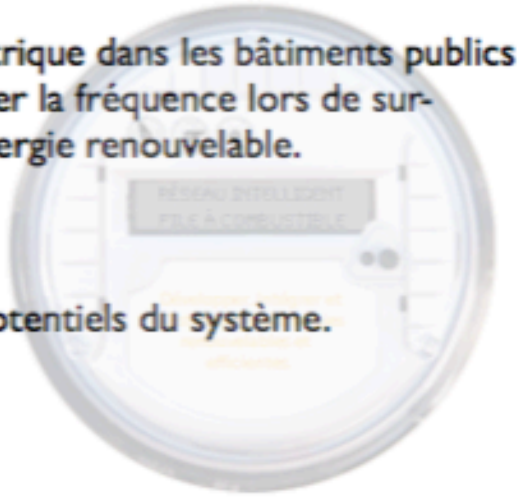
- ☑ Les onduleurs Sunny Island gèrent et contrôlent la balance de puissance de toute le système de production électrique de manière automatique
- ☑ Paramètrage de contrôle intégrés : Etat de Charge (SOC) des batteries :
  - 60 % : groupe électrogène est mis en route
  - 80 % : groupe électrogène coupé et les batteries produisent sur le réseau.

▶ Le groupe électrogène est seulement nécessaire dans le cas l'énergie d'origine renouvelable n'est pas suffisante.

Exemple - Ile de Eigg - UK

Gestion du réseau

- ☑ Les habitations sont limités à une puissance de 5kW
- ☑ Les commerces sont limités à 10 kW
- ☑ Chaque consommateur à un monitor d'énergie
- ☑ Compteur de pré-vente
- ☑ Chauffage électrique dans les bâtiments publics pour faire tomber la fréquence lors de sur-production d'énergie renouvelable.

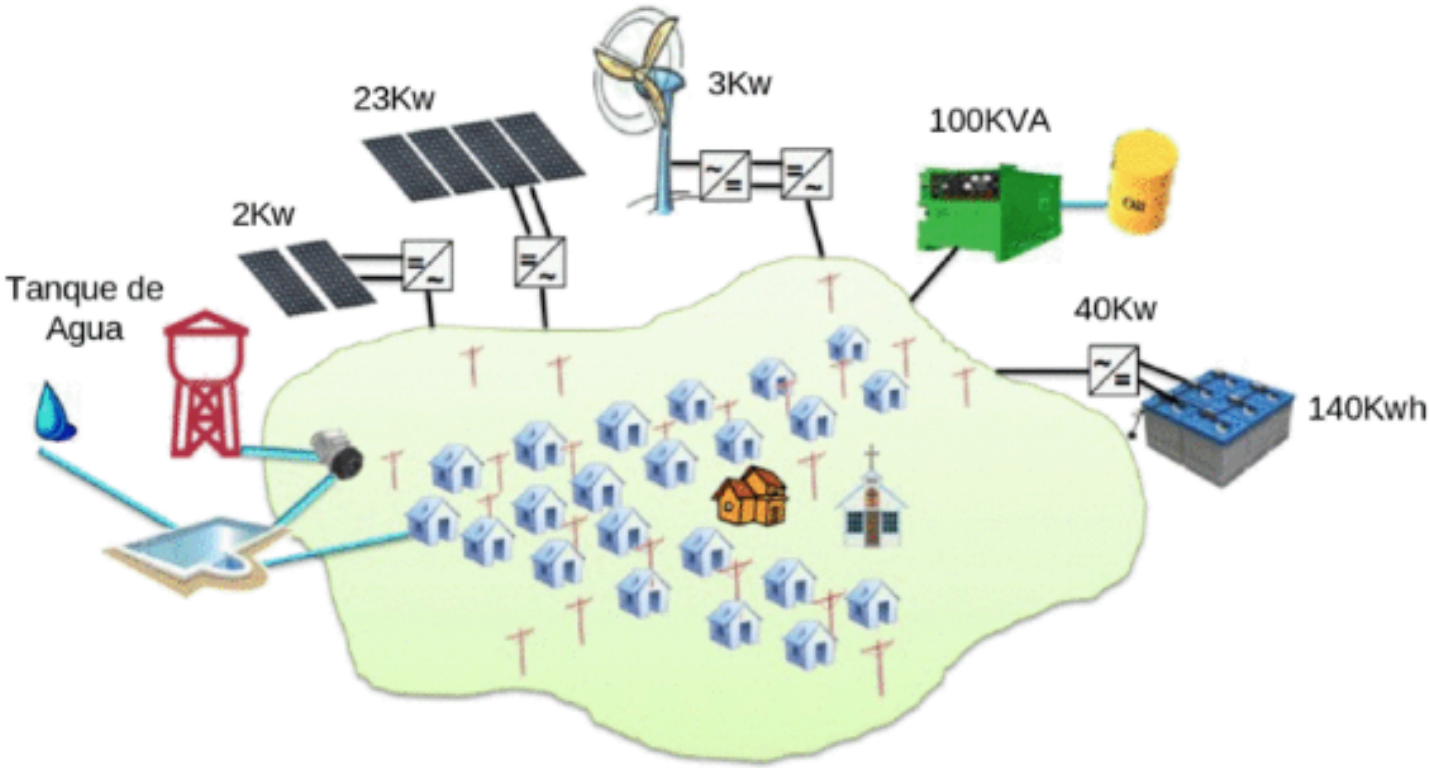


- Tout le monde a appris a vivre avec les limites et les potentiels du système.

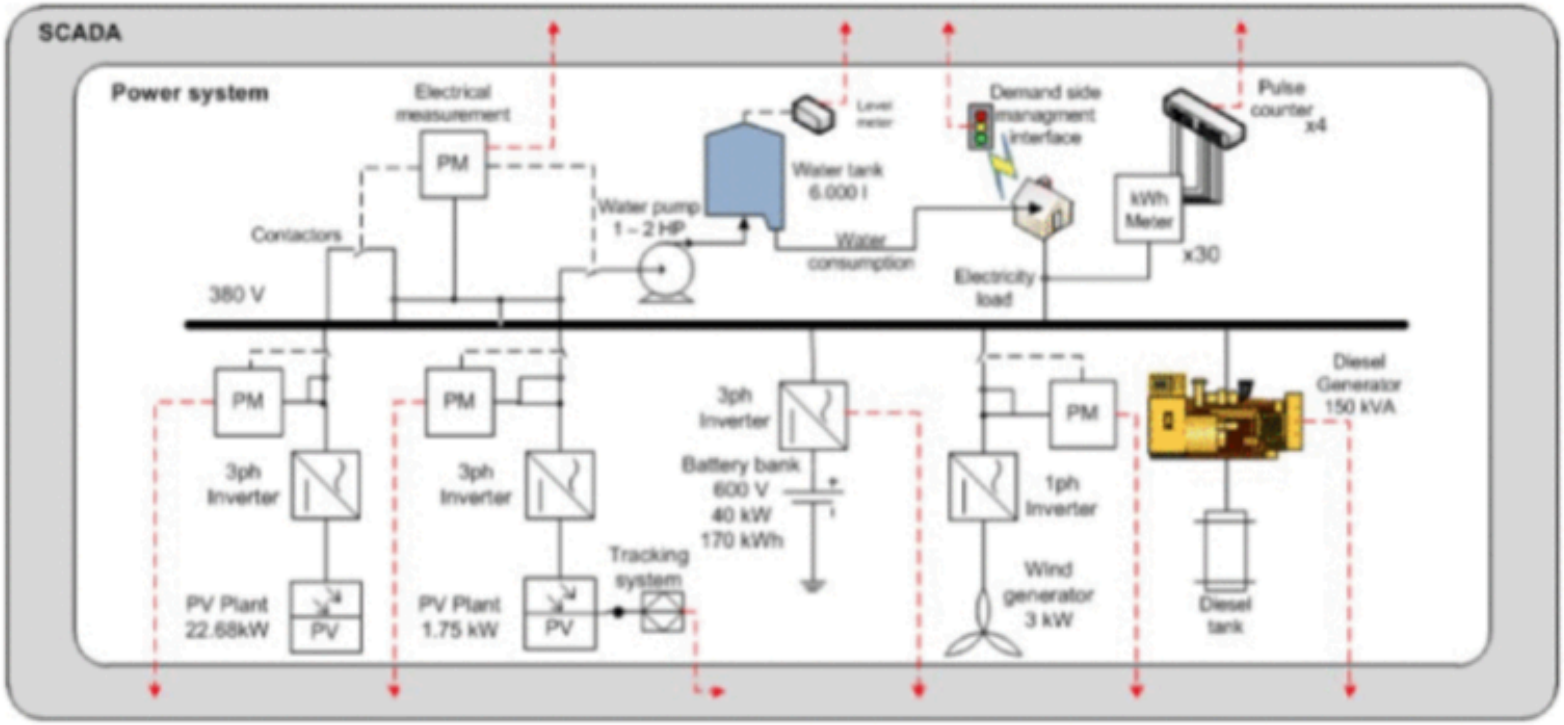
Social Microgrid – Huatacondo - Chili

Réseau isolé
80 à 500 habitants

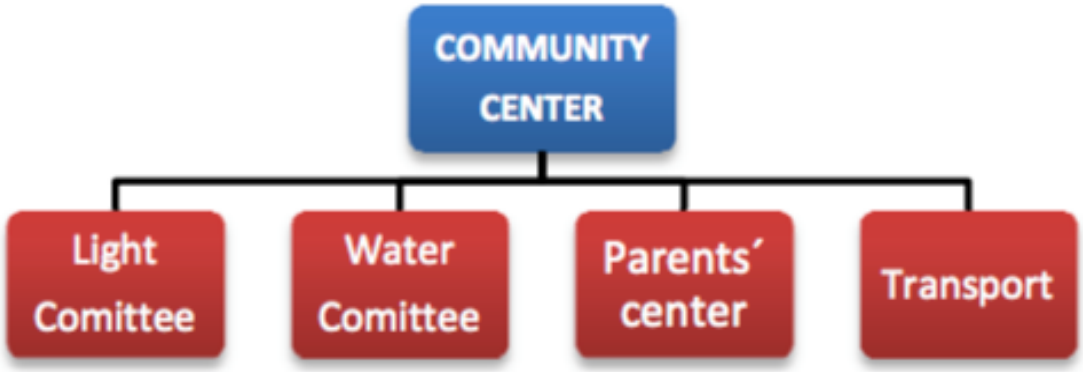
Social Microgrid – Huatacondo - Chili



Social Microgrid – Huatacondo - Chili



Social Microgrid – Huatacondo - Chili



Social Microgrid – Huatacondo – Chili – Gestion de la demande

Social Microgrid – Huatacondo – Chili – Indicateurs Sociaux et Développement Durable

Social Microgrid – Huatacondo – Chili Maintenance

Conclusion

Les énergies renouvelables c'est Construire une vision, un projet fait par et pour le Territoire

Michel Frémont
Directeur – SCIC IDEE – Bureau d'étude en coopérative
IDEE – Initiatives pour le Développement de l'Efficacité Energétique
www.scic-idee.fr

contact@scic-idee.fr