

Les EnR (III) : Les énergies de la terre

Géothermie

Rudologie

Biomasse

Géothermie

Généralités

Guadeloupe

Possibilités réunionnaises

Définitions

- **Géothermie**
- Trois types :
 - Peu profonde
 - Profonde
 - Très profonde

La **géothermie** est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à les exploiter.

Par extension, désigne aussi l'énergie issue de la Terre qui est convertie en chaleur ou en électricité.

On distingue trois types de géothermie :

Peu profonde à basse température, pour besoins en chauffage ou climatisation,

Profonde à haute température,

Très profonde à très haute température, celle qui nous intéresse pour produire de l'électricité.

Centrale géothermique de Nesjavellir (Islande, 120 MWe)



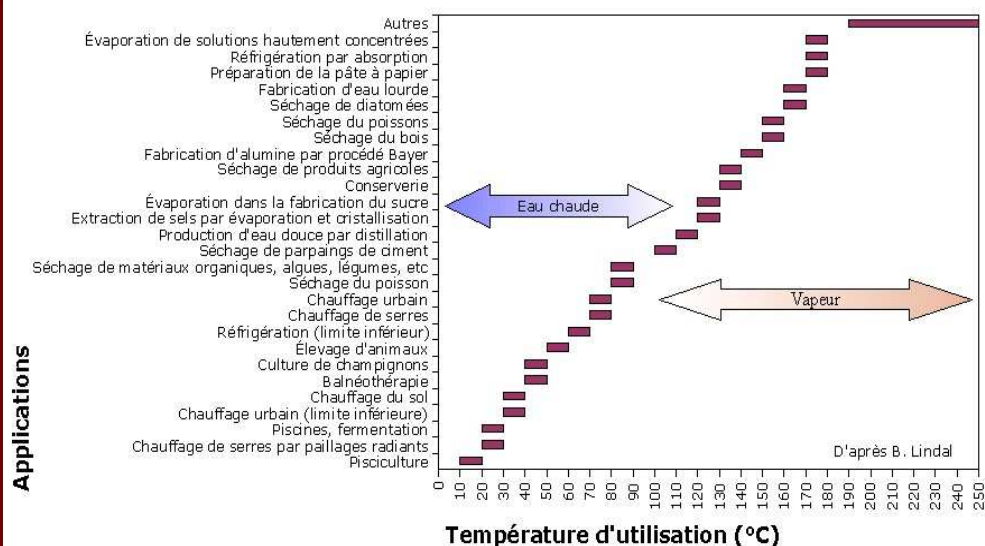
Centrale géothermique de Palinpinon (Philippines)



Et non pas lapin nippon, trop prolifique...

Applications de la géothermie

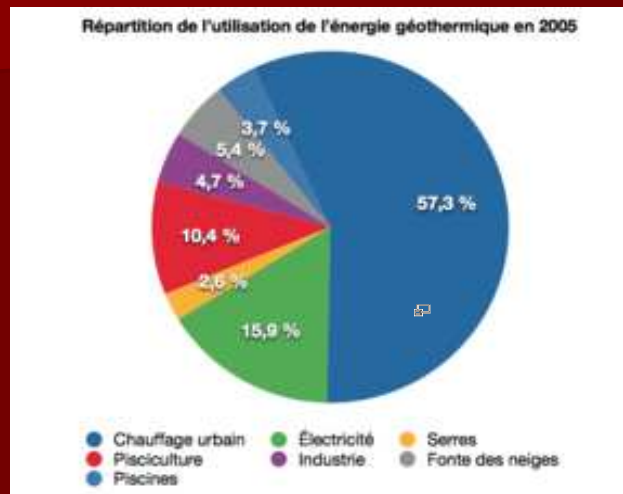
Géothermie - Applications industrielles



Capacité géothermique installée dans le Monde en août 2003

Région du Monde	MWe
Asie	3220
Amérique du Nord	2971
Union Européenne	883
Océanie	441
Amérique centrale et du sud	416
Autres pays d'Europe	297
Afrique	128
Total mondial	8536

Les pays exploitants : Islande



66 % de l'énergie primaire (15 % hydroélectricité, 19 % fossile), 89 % du chauffage

Les producteurs

- Etats-Unis : The Geysers, 2000 MWe en Californie, à 145 km au Nord de San Francisco ; 21 centrales, 350 puits. Au sud de la Californie, 15 centrales pour 570 MWe.
- 28 % de l'électricité générée aux Philippines est d'origine géothermique.
- Le troisième producteur mondial est l'Indonésie.
- En 2017, 576 MWe au Kenya, dans la Rift Valley, soit 25 % de l'électricité du pays (168 MWe actuellement)



Politiques publiques

- Islande et Philippines
- France, où la priorité a été donnée au nucléaire
 - *Géochaleur*
 - Ainsi que l'IMRG
 - Obligation d'économie d'énergie pourrait redonner un intérêt à la Géothermie, considérée rentable par la Commission Énergie.
 - Pour augmenter leur part d'énergie renouvelable dans leur bouquet énergétique, de grandes collectivités se ré-intéressent à la géothermie, dont l'Île-de-France.

Comme on l'a vu, en Islande ou aux Philippines, la géothermie est largement exploitée.

En France, où la priorité a été donnée au nucléaire

- la société *Géochaleur* créée par la **Délégation aux énergies nouvelles** du Ministère de l'Industrie en 1978 et de l'UNHLM pour assister les maîtres d'ouvrage en géothermie, a finalement rapidement disparu faute de soutien budgétaire et politique,

- ainsi que l'IMRG (Institut Mixte de Recherche sur la Géothermie) créé plus tard à l'initiative du BRGM et de l'AFME,

- mais l'obligation d'économie d'énergie qui accompagne la souplesse des échanges de certificats pourrait redonner un intérêt à la Géothermie, considérée comme déjà rentable par la Commission Énergie, présidée par Jean Syrota.

-Néanmoins pour augmenter leur part d'énergie renouvelable dans leur bouquet énergétique, de grandes collectivités se ré-intéressent à la géothermie, dont l'Île-de-France qui avec l'Ademe à ouvert en 2009 un nouveau forage (dans la nappe du Dogger (57°C), à un point situé au nord-est de Paris, près de la porte d'Aubervilliers) qui doit chauffer plus d'un million de m2 de logements, bureaux et commerces. 54 forages avaient déjà été réalisés dans les années 1980, dont 34 étant encore actifs en 2009. D'autres devraient être creusés à 1 800 mètres. La CPCU et l'Agence nationale de la recherche travaillent à un projet *Géostocal* de stockage de l'excédent énergétique estival pour «recharger» la nappe et en faire une réserve de calorie pour l'hiver, avec un rendement espéré de 80 %.

- En 2011, l'ADEME, le BRGM, certains Conseils Régionaux et d'autres acteurs ont mis en ligne un portail avec accès à plusieurs atlas régionaux disponibles, comme outil d'aide et décision pour les élus, citoyens et industriels, maître d'ouvrage ou bureau d'étude, avec des informations sur les aides possibles, les acteurs locaux, des documents thématiques et d'actualité sur la géothermie ; le site offre aussi un SIG sur le potentiel géothermique des aquifères superficiels, et un Guide technique d'aide à la décision.

Centrale géothermique de Bouillante (Guadeloupe)

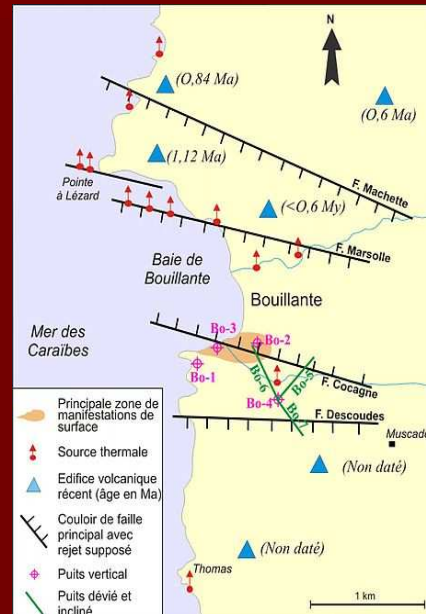
- Début en 1960 sous l'égide du BRGM.
- Unité de production de 5 MW décidée en 1984 : Bouillante 1.
- Mise en service en 1986 par EDF, arrêt en 1993
- Reprise par le groupe BRGM en 1995.
- En 2000, forages exploratoires.
- Mise en service début 2005

La centrale de Bouillante a déjà une longue histoire qui a débuté dans les années 1960 par la réalisation de sondages et des forages d'exploration sous l'égide du BRGM. Quatre forages profonds ont suivi dans les années 70, réalisés par la société Eurafrep. Un seul d'entre eux, de plus de 300 m de profondeur, a permis une extraction de fluide géothermal en quantité et qualité suffisante pour alimenter une turbine.

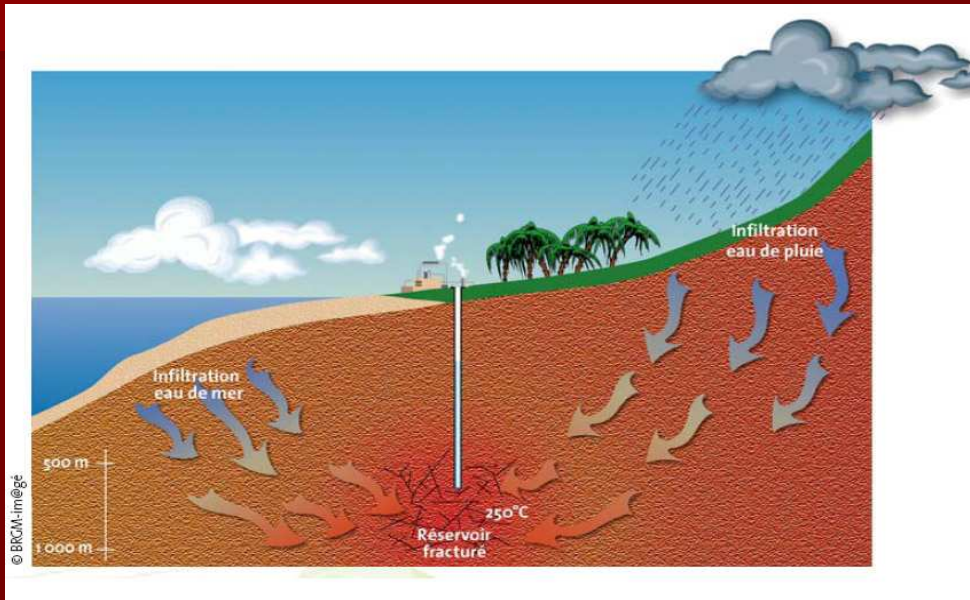
C'est sur cette base qu'une unité de production d'une capacité de 5 MW a été décidée en 1984 : l'unité de production Bouillante 1. Cette unité a été mise en service en 1986 par EDF qui a stoppé la production suite à des problèmes techniques en 1993 ; c'est dans ce cadre que cette unité de production a été reprise par le groupe BRGM en 1995.

En 2000, des forages exploratoires sont entrepris pour développer la centrale et exploiter au mieux le réservoir disponible. Quatre forages sont alors réalisés entre 2000 et 2001 dont 3 se révéleront aptes à la production. Entre 2002 et 2004, une nouvelle unité de surface est construite et la mise en service est opérée début 2005 : la deuxième unité de production, Bouillante 2 est née et porte la production totale à 15 MW, ce qui représente environ 6 % des consommations électriques de l'île.

Zone géographique de Bouillante



Champ géothermique de Bouillante



1° L'eau de mer et l'eau de pluie s'infiltrent en profondeur dans le sous-sol des environs de Bouillante au travers des roches fracturées.

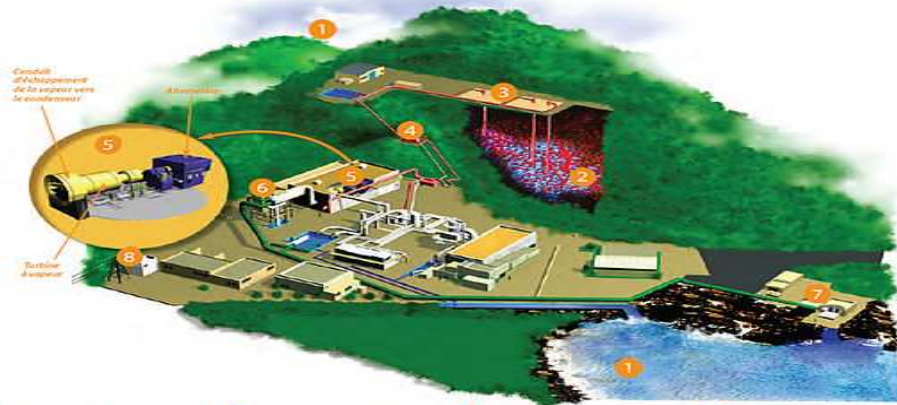
2° Elles se mélangent en proportion égale et se réchauffent au contact des roches chaudes jusqu'à une température de l'ordre de 250-260 °C.

3° C'est de ce formidable réservoir d'énergie, potentiellement inépuisable, que proviennent les fluides exploités par la centrale.

D'après les connaissances acquises et notamment le traçage géochimique dans les puits, le réservoir de Bouillante semble être de taille relativement importante. C'est le même procédé industriel (avec quelques variantes) qui est utilisé par toutes les centrales géothermiques à travers le monde.

Etapes du processus

Du fluide géothermal à la production d'électricité Les étapes du processus



1 L'origine des fluides

L'eau de mer et l'eau de pluie s'infiltrent dans le sous-sol par des fissures et des failles affectant les roches autour de Bouillante.

2 Le réservoir géothermal

En profondeur, ces fluides circulent dans les fractures, se mélangent et se réchauffent au contact des roches chaudes (250 à 260 °C de température).

3 La plate-forme de forage

Cette eau chaude est prélevée grâce à des forages et se vaporise partiellement lors de sa remontée vers la surface.

4 Le séparateur

Le mélange eau et vapeur est transporté dans une conduite jusqu'au ballon séparateur où les deux phases se séparent par gravité. Puis deux conduites transportent séparément l'eau et la vapeur jusqu'à la centrale.

5 Le groupe turbo-alternateur

La vapeur est dirigée vers la turbine qui entraîne l'alternateur qui produit de l'électricité.

6 Le condenseur barométrique

Après passage dans la turbine, la vapeur est envoyée dans le condenseur barométrique où elle est refroidie et condensée par mélange avec l'eau de mer. Elle est ensuite acheminée jusqu'à la mer avec l'eau issue du ballon séparateur.

7 La station de pompage

Elle fournit à la centrale l'eau de mer de refroidissement nécessaire au condenseur.

8 Le réseau électrique

L'électricité produite par la centrale est délivrée sur le réseau électrique EDF.

Contribution de Bouillante 1 et 2 à l'électricité guadeloupéenne

- $4 + 11 = 15$ MWe
- 2007 : 95 GWh = 8 % de l'électricité
- 2008 : 89.3 GWh = 7 %
- 6 000 heures par an.
- 20 000 foyers desservis

2 clips sur l'énergie de la terre

Le premier général
Le deuxième sur Bouillante

Projet Bouillante 3

- Permettrait l'exploitation des potentialités offertes par l'extension du réservoir en bordure nord de la Baie de Bouillante, estimées à plusieurs dizaines de MWe.
- Une prochaine phase de forages d'exploration est en préparation et devrait confirmer ce potentiel.

Géothermie à La Réunion

- Lancé en 1978 par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières

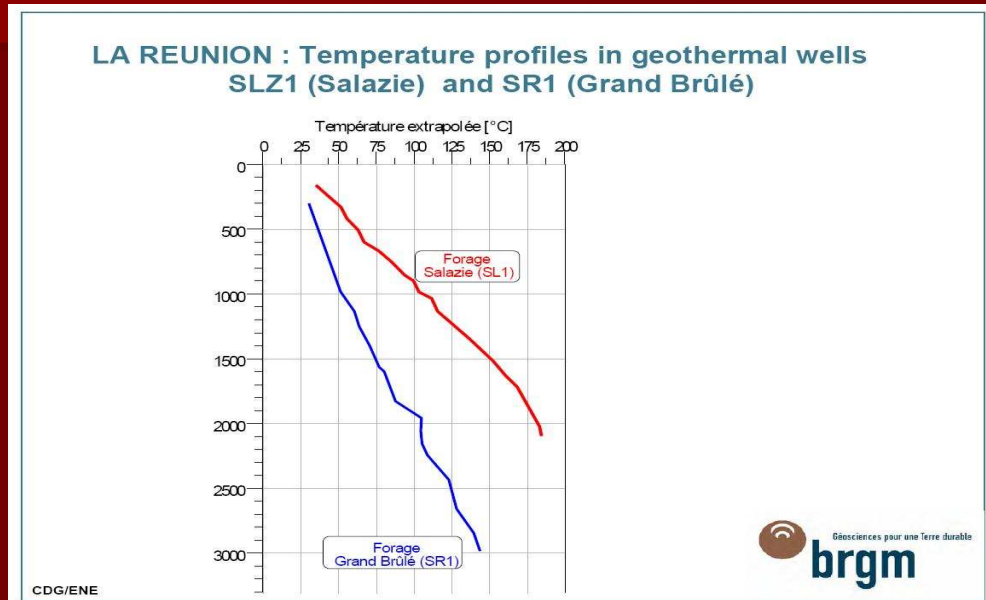
Lancé en 1978 par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, le **Projet d'exploitation Géothermique** haute énergie de l'île de La Réunion a été repris en 2001 par son Conseil régional dans le cadre des transferts de compétences prévues par la LOOM. Il est toujours dans sa phase d'exploration.

Méthodes d'exploration de surface

- la Gravimétrie
- la Magnétotellurie (MT)
- la Polarisation Spontanée (PS)
- l'Analyse chimique des eaux et des gaz

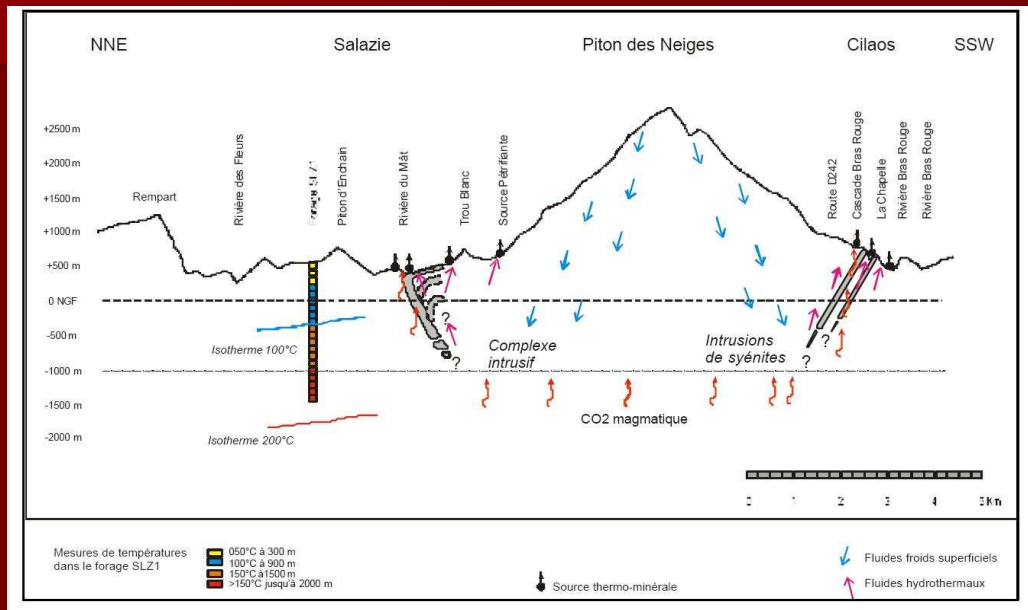
- la Gravimétrie pour cerner les réservoirs de chaleur.
- la Magnétotellurie (MT) pour repérer les couches de terrain imperméables, susceptibles de retenir l'eau géothermale
- la Polarisation Spontanée (PS) pour détecter les circulations d'eau sous la surface
- l'Analyse chimique des eaux et des gaz: La présence d'anomalies en He, CO₂, H₂S, CH₄ et Rn (radon) permet de mettre en évidence d'éventuelles contaminations par des gaz d'origine magmatique

Exemples de profil de température par gravimétrie



On décèle ainsi, par gravimétrie, que le site de Salazie sera plus performant que celui du Grand Brûlé.

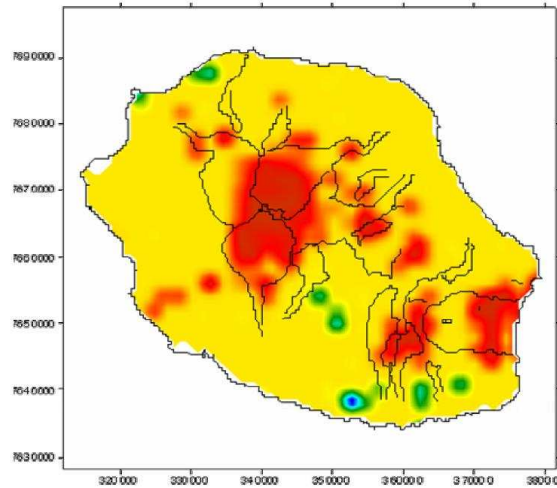
Géothermie du Piton des Neiges



Le site se situe non loin du hameau de Grand Ilet, de l'autre côté du Piton d'Enchaing.

Chaleur 974

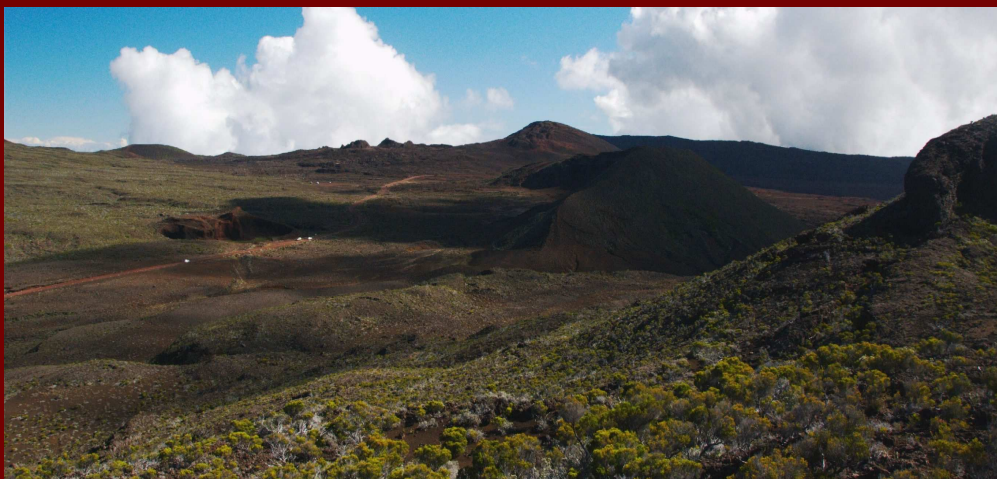
(non ce n'est pas un pseudo de Radio la di la fé)



Après traitement et recoupement des relevés sur le terrain, on obtient ce type de représentation graphique. Les zones en rouge symbolisent les sous-sols composés de roches lourdes, ce qui indique la présence de lave refroidie ou « corps intrusifs », et donc d'une source de chaleur.

Voici une carte gravimétrique de l'île de La Réunion. Les réservoirs de chaleur les plus importants sont donc le Grand Brûlé, la Plaine des Sables, et les trois cirques, mais surtout Cilaos et Salazie. Le moins inaccessible, depuis l'ouverture du Parc de l'Unesco, semble donc être celui de Salazie. Les constructions sont interdites dans le Grand Brûlé.

Plaine des Sables : site du forage d'exploration



Projet de la Plaine des Sables

- Budget
- Ressource
- 50 % de chances de réussite.
- Le 26 mars 2010, abandon définitif
- Alternative de Salazie

Budget d'exploration de 11 millions d'euros.

Ressource estimée à 20 MW.

50 % de chances de réussite.

Le 26 mars 2010, le nouveau Conseil Régional a annoncé l'abandon définitif de ce projet *"contraire à la protection et à la mise en valeur du patrimoine naturel que sont le Volcan et la Plaine des Sables"* .

Alternative de Salazie :

En périphérie du parc national

pas si différente du projet de la Plaine des Sables
(réinjection de fluide géothermique)

Accès difficile, au pied de Grand Ilet

Projet de Salazie

- Forage
- Technique : Hot Dry Rock
- Soultz-sous-forêts
- Les mesures PS annulées
- Site du Piton des Neiges/Salazie pas définitivement abandonné.

Forage de 2100 m en 1986 : gradient de température élevé de 9,5°C/100m (192 °C à 2100 m de profondeur).

Inexploitable en géothermie haute enthalpie du fait de l'absence de circulation d'eau d'où la technique Hot Dry Rock (HDR), en cours de développement, qui permet l'exploitation de réservoirs géothermiques secs (fracturation hydraulique du réservoir et mise en place de puits d'injection d'eau). Cette technique, appelée aussi *Système Géothermique Stimulé*, est priorité de développement dans la **stratégie nationale de recherche énergétique**.

Ainsi, en Alsace, le 13 juin 2008, le premier ministre a symboliquement injecté, à Soultz sous Forêts, le premier kilowattheure géothermique produit selon cette technique dans le réseau d'électricité de Strasbourg.

Revenons à La Réunion : les mesures de polarisation spontanée définies dans les orientations de la réunion Géothermie 2002 ont été annulées en raison de la priorité accordée au site de la Plaine des Sables.

Le site du Piton des Neiges/Salazie n'est pas définitivement abandonné et semble favorable à l'exploitation à long terme en HDR.

La rudologie

Ou gestion des déchets

Définition

- La **gestion des déchets** ou **rudologie**
- On ne s'intéressera aujourd'hui qu'à la valorisation énergétique

La **gestion des déchets** ou **rudologie** est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets.

On ne s'intéressera aujourd'hui qu'à la valorisation énergétique : enfouissement et biogaz, incinération, compostage et méthanisation (TMB), pyrolyse et gazéification.

Gestion des déchets

- Règle des 3 R
- Un quatrième R? Re-penser
- Valorisation énergétique des déchets

Règle des 3 R:

Réduire

Réutiliser

Recycler (chimique, mécanique, et organique, ce dernier pour produire du biogaz)

Un quatrième R? Re-penser

Valorisation énergétique des déchets:

Enfouissement

Incinération

Recyclage

Compostage et fermentation (dont TMB)

Pyrolyse et gazéification

Enfouissement

- Composition d'une décharge
- Surveillance 30 ans
- Devenir du méthane (ou biogaz)

Composition d'une décharge :

Barrière passive : argile, bâches

Barrière active : drains récupérant les lixiviats avant leur traitement

Réseau de collecte des effluents gazeux et liquides

Couverture semi-perméable d'argile et de terre

Surveillance 30 ans. Les émissions de biogaz sont collectées en maintenant les déchets en dépression.

Devenir du méthane (ou biogaz)

Brûlé en torchère

Valorisé en biocarburant pour chaleur et électricité, ou pour alimenter une flotte de véhicules (biocarburant de troisième génération qui nécessite des équipements d'épuration)

Décharge près de Perth



Incinération

- Controverses
- Résultats
- L'incinération est une technique obsolète

Il existe des controverses:

D'abord, le taux de valorisation énergétique est limité : en 2002, 2^e source de production d'électricité comme « EnR » après l'hydraulique, et de chaleur après la biomasse

Quantité de polluants atmosphériques : dioxines, furanes, métaux lourds, gaz acides, poussières => normes très strictes

Résidus solides = mâchefers, valorisés en technique routière ou enfouis

Les résultats français sont calamiteux:

En France, 19 % des déchets sont recyclés ou compostés, 38 % en décharge, 43 % incinérés.

55 % recyclés en Allemagne, 70 % en Flandre!

L'incinération est une technique obsolète :

problèmes sanitaires et environnementaux,

n'incite pas à la réduction de notre production de déchets,

laisse de côté le débat public et démocratique sur la rudologie

n'est pas favorable en termes d'emplois

Incinérateur à Saint-Ouen



Recyclage

- Pas de valorisation énergétique sauf si organique -> biogaz
- Deux conséquences écologiques majeures
- Impacts industriels
- Impacts environnementaux

Valorisation énergétique organique pour le biogaz

Deux conséquences écologiques majeures:

Réduction du volume et donc de la pollution

Préservation de la ressource

Impacts industriels

Source d'approvisionnement alternative

Création d'activités

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur.

En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables, mais pas tous (ordinateurs)

Coût de main-d'œuvre

Ceci exige une main-d'œuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient compromettre le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre).

La collecte sélective elle-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et emploie plus de personnes qu'une collecte simple.

La plupart des coûts supplémentaires sont à la charge de la collectivité (en France, par exemple, c'est au niveau de la **commune** ou de la communauté de communes que cela est géré). Les impôts locaux et d'autres sources de financement existent : l'écotaxe et le point vert sur les emballages.

Conséquences sur les produits issus du recyclage

Pour certains types de produits, la qualité de la matière première est altérée par l'opération de récupération de celle-ci dans les produits recyclés. Par exemple : papier, matières plastiques, verre

Cependant, pour la plupart des matières premières contenues dans les déchets (métaux, verre, certains plastiques), les qualités sont conservées.

La chimie intervient de plus en plus : résines polyuréthanes supérieures au bois.

Impacts environnementaux

Protection des richesses naturelles

-l'acier recyclé économise le fer

-1 t de plastique économise 700 kg de pétrole

-1 kg d'aluminium = 8 kg de bauxite et 14 kWh d'électricité

-1 t de carton, 2,5 t de bois

-1 feuille de papier = 1 l d'eau, 15 g de bois, et 2,5 W d'électricité

Écobilan

C'est la pertinence du recyclage : exemple des consignes pour le verre (transport, 1550°, commercialement non rentable)

Pneus transformés en fauteuils en Thaïlande



Compostage et fermentation

- Deux principes
- TMB

Ces techniques concernent les déchets fermentescibles. Il existe un large éventail de méthodes, mais selon deux principes:

Milieu aérobie = compostage

Milieu anaérobie = méthanisation

Le TMB (tri ou traitement mécano-biologique)

Combine le tri mécanique et le traitement biologique

Produit biogaz et terreau

La qualité de la méthanisation ou du compostage dépend de la qualité initiale du tri

Réservoir d'ensilage de maïs (en vert le réservoir de biogaz)



Risques et limites du TMB

- Outil de stabilisation des ordures ménagères
- Leurre comme moyen efficace de produire du compost
- Pourtant en plein développement en France
- La nouvelle solution « écologique » pour traiter les déchets?
- 7 % des « composts » répondent à la norme
- Si norme NFU 44051 renforcée, TMB impossible
- Déchets secs incinérés => surcoûts pour la collectivité
- 1 t de déchets/TMB = 80 à 135 euros (hors Taxe Générale sur les Activités Polluantes)
- **Pas de garantie sur les métaux lourds**
- **Pas un outil pertinent pour développer la valorisation**

Le traitement mécano-biologique pourrait éventuellement être envisagé et trouver sa place dans la gestion des déchets comme outil de stabilisation des ordures ménagères résiduelles (OMR) après collecte sélective des biodéchets, des emballages et des déchets dangereux des ménages, notamment pour minimiser l'impact des déchets mis en décharge (neutralisation des émissions de méthane de la matière organique résiduelle et réduction du volume enfoui). En revanche, c'est un leurre de croire qu'il pourrait être considéré comme un moyen efficace et privilégié de produire du compost normé utilisable en agriculture.

Le TMB est pourtant aujourd'hui en plein développement en France. Il est mis en place dans la majorité des cas en vue du compostage de la part organique des déchets ménagers mais également en amont de la méthanisation de cette part organique. De nombreux projets fleurissent sur le territoire (d'après l'ADEME, environ une quarantaine de créations et une trentaine de rénovations) comme nulle part ailleurs en Europe. Après des décennies de tri-compostage produisant un support de culture de très mauvaise qualité, le TMB est vendu comme la nouvelle solution « écologique » pour continuer à traiter les déchets ménagers non triés en valorisant la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM) ou le digestat issu de la méthanisation de la FFOM en compost. Or, sur le terrain, c'est une tout autre réalité : d'après l'ADEME, seulement 7 % des «composts» issus d'ordures ménagères répondraient à la norme sur les amendements organiques (NFU 44051) à respecter depuis le 1er mars 2009. En effet, la matière organique contenue dans les poubelles résiduelles est contaminée par différents polluants. Rappelons, par exemple, qu'une pile sur trois seulement est aujourd'hui collectée sélectivement et que plus de la moitié des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) finit dans les ordures résiduelles, sans parler des déchets dangereux des ménages. On ne peut donc obtenir un compost de qualité en récupérant la matière organique à partir d'ordures en mélange. Cette matière non normée est ainsi intégrée dans des plans d'épandage ou rejoint un centre de stockage. En outre, la norme NFU 44051 pourrait être renforcée dans le cadre d'une révision des normes de qualité des composts à l'échelle européenne. La production de compost normé par traitement mécano-biologique des ordures ménagères résiduelles sera à terme rendue impossible ou alors à coût très élevé. Enfin, les déchets secs récupérés par le tri mécanique, à l'exception des métaux, ne répondent pas aux prescriptions techniques établies par les recycleurs et sont donc incinérés ou co-incinérés. Ce sont autant de surcoûts assumés par la collectivité. D'après l'ADEME, le coût moyen d'une tonne de déchets traitée par TMB varie entre 80 et 135 euros TTC (hors Taxe Générale sur les Activités Polluantes).

Les constructeurs d'usines de TMB reconnaissent parfois eux-mêmes qu'ils ne peuvent garantir la conformité à la norme NFU 44051, notamment en ce qui concerne les traces de métaux lourds (éléments traces métalliques - ETM).

Le TMB n'est pas un outil pertinent pour développer la valorisation matière. Le traitement des ordures ménagères résiduelles par TMB ne permettra pas d'aider à l'atteinte de l'objectif fixé dans la loi dite Grenelle 1. En aucun cas cet outil ne constitue une alternative à l'incinération ou à l'enfouissement.

Compost de déchets d'étable



Pyrolyse et gazéification

- Pyrolyse
- Gazéification

Pyrolyse = traitement thermique à THT et HP, en milieu à oxygène raréfié, plus efficace que l'IOM pour récupérer de l'énergie. Les résidus solides peuvent être récupérés pour faire du charbon actif.

Gazéification = transformation des matières organiques en syngaz ($\text{CO} + \text{H}_2$), lequel est brûlé pour produire électricité et vapeur. Utilisé dans les centrales à biomasse pour électricité et chaleur.

Nécessite des torches à plasma.

Les déchets non organiques deviennent de la matière vitrifiée amorphe.

Les déchets organiques deviennent gaz carburant

Centrale de Güssing (Burgenland, frontière austro-hongroise)

Convertit les copeaux de bois en syngaz pour les besoins de l'agglomération



Biomasse

Et ses capacités énergétiques

Définitions

- Ensemble des matières ...
- Sources de biomasse
- Biocarburants
- EnR tant que pas de surexploitation de la ressource

Ensemble des matières organiques pouvant devenir sources d'énergie par combustion après méthanisation, ou autres transformations chimiques (agrocarburants)

Sources de biomasse :

Biogaz des déchets bien sûr,

Par **CONVERSION THERMOCHIMIQUE**, lignine (ou biomasse ligno-cellulosique) = bois, paille, bagasse, fourrage,

Par **CONVERSION BIOLOGIQUE**, biomasse à glucides = céréales, betteraves, canne à sucre,

Pour **BIOCARBURANTS**, biomasse oléagineuse = colza, palmier, algues.

Les biocarburants sont soit des esters d'huiles végétales, soit du bioéthanol issu du blé ou de betteraves, et incorporables dans le super SP sous forme d'ETBE (éthyl tertio butyl éther)

C'est une EnR tant que la ressource n'est pas surexploitée

Répartition

- La biomasse = première EnR en France
- USA, Allemagne, Brésil

La biomasse, c'est la première EnR en France : en 2009, près de 12 Mtep ont été produits à partir de biomasse (bois énergie, biocarburants, biogaz et agrobiomasse) contre seulement 2/3 Mtep éoliens et 1/15 Mtep solaires, c'est-à-dire respectivement 18 fois et 180 fois plus. Mais ce ne sont pas les mêmes usages.

Les USA fabriquent 30,7% de l'électricité mondiale à partir de la biomasse, devant l'Allemagne et le Brésil (7,3%)

Unité de valorisation énergétique de la biomasse en Allemagne



Valorisation de la biomasse

- Sous forme de chaleur : les bioénergies
- Par conversion biologique : biogaz
- Sous forme de carburant : les biocarburants

Conversion thermochimique : Bois énergie

- Pour le chauffage (53% : Afrique 90%, Asie 77%, AmSud 53%, Europe 21%, AmNord 8%) ou l'électricité
- Menaces:
 - Coûts et impacts du transport
 - Déforestation et surexploitation
 - Pollution atmosphérique
- Une alternative: la torréfaction de la biomasse (Biocoal, Biochar): double la puissance de combustion de 10 à 20 GJ/m³
- Réduction des risques:
 - Reboisements
 - Herbes à éléphant (10 kWh/m²/an).



Briquettes
de paille

Conversion biologique : Biogaz (méthanisation)

- Phénomène naturel : marais.
- Mélange
- CH₄
- Avantages

Mélange de CH₄, CO₂, H₂S, l'énergie provient du méthane.

Le CH₄ est un gaz à effet de serre 23 fois plus efficace en terme d'effet de serre que le CO₂, en fait 62 fois plus puissant, mais plus éphémère, moins stable. Quoi qu'il en soit, on a tout intérêt à le consommer

Les avantages de la conversion biologique du biogaz sont:

- Réduction des GES

- Réduction des microbes coliformes dans les effluents agricoles

- Économie sur les dépenses énergétiques

- Diminution de la charge en carbone des déchets végétaux

La meilleure utilisation est la réinjection dans le réseau de gaz naturel.

Utilisations et efficacité du biogaz

■ Utilisations

- Combustion pour électricité et cogénération avec chaleur
- Chauffage et CO₂ pour serres
- Carburants pour véhicules GNV
- Méthanation pour former de l'H₂ renouvelable

■ Efficacité (Allemagne)

- Cogénération + efficace ⇔ 5000 l fuel/ha/an
- Cogénération = rendement 70%
- Injection dans le réseau = rendement 90%
- **Fontainebleau, Mali, Inde...**

Vous avez devant vous les principales utilisations et rendements du biogaz, au travers d'une étude allemande. Quelques expériences méritent d'être mises en lumière:

- Fontainebleau, accompagnée par l'Ecole Supérieure des Mines met en route une méthanisation-injection de 30.000 tonnes/an de fumiers de cheval sous le nom de projet : EQUIMETH.

- Au Mali, des projets pilotes ont été menés dans des zones isolées, pour mesurer comment le biogaz pouvait produire de l'énergie à usage domestique dans une optique durable. L'expérience a montré qu'avec la formation d'artisans locaux pouvant prendre en charge la production des équipements nécessaires (gazomètre, digesteur) et la formation des familles à l'entretien des équipements, le biogaz peut être une alternative viable à l'utilisation des combustibles ligneux pour la cuisson des repas et améliorer les conditions de vie par d'autres apports en énergie (réfrigération notamment). La pression sur les ressources ligneuses a diminué et le compost produit a été utilisé pour fertiliser les sols. Un appui financier reste nécessaire pour la mise en place du système (équipements, installation, formation).

- Arti, une organisation non-gouvernementale en Inde, développe un simple digesteur d'0,5m³ (surélevé) pour les Tropiques qui utilise les déchets de la cuisine (riches en amidon et sucres) pour produire le biogaz. 1 kg de déchets produit 400 litres de biogaz en 6 à 8 heures, ce qui suffit pour environ 15 à 20 min de cuisine.

Digesteurs ovoïdes à Dinslaken (Allemagne, Nord de la Ruhr)



Voyez l'escalier en bas à gauche, pour vous donner une idée de la taille de ces œufs...

Biogasmax : l'énergie des déchets pour un transport urbain environnemental

- Projet européen sur 4 ans à fonction d'éclaireur
- Lille, Stockholm, Göteborg, Berne, Rome, Torun et Zielona Gora (Pologne)
- Université de Stuttgart
- Mise en commun des expériences
- www.biogasmax.eu

Le Biogaz à La Réunion

- Méconnu, collaboration avec l'agriculture
- CET de Sainte-Suzanne et de Rivière Saint-Etienne : petites installations
- En 2008, seulement 2 MW de puissance avec la centrale de Pierrefond = 0,72 GWh électriques
- Crête d'Or : projet de méthanisation pour mettre en valeur leurs déchets et résidus de production
- Rendement thermique > rendement électrique
- Valorisation dans la cogénération (chaleur 2/3 et électricité 1/3) le plus probable

Vous trouvez ici les principales expérimentations réunionnaises concernant l'utilisation du biogaz. La turbine de Pierrefond produit désormais plus, et son exemple mérite d'être suivi ailleurs dans l'île.

Usine du Gol : cogénération bagasse/charbon



Ici la cogénération ne signifie pas tout à fait la même chose. Avec le biogaz, on parle de cogénération d'usage : chaleur et/ou électricité. Au Gol, on parle de cogénération d'électricité issue de la combustion du charbon et de la bagasse.

Biocarburants

- 1 définition
- 2 filières
- 3 générations

Carburant produit à partir de matériaux organiques **non fossiles**, provenant de la biomasse. Finalement le principe est l'accélération du processus naturel de fossilisation.

Deux filières:

Alcool : sucre, amidon, cellulose, lignine, hydrolysées

Oléagineuse : bioester ou biogazole

Trois générations:

Première : elle se fait au détriment de la ressource alimentaire (graines de réserve). On adapte le carburant au moteur par transformation chimique (estérification), ou le moteur au biocarburant (moteur Elsbett, non développé car T° de fonctionnement élevée et production de dioxyde d'azote, formation d'ozone)

Deuxième : pas seulement les graines, mais la plante entière, donc sans concurrence alimentaire

Troisième : les algocarburants, de meilleur rendement, également sans concurrence alimentaire

Filières de première génération

- Filière huile
- Filière alcool
- Filière gaz
- Autres filières

Filière huile:

Huile végétale brute (HVB), moteur adapté

Huile transestérifiée par l'alcool ou le méthanol pour produire du biodiesel.
Ces esters sont des carburants sans soufre.

Filière alcool:

Par fermentation des sucres

On obtient du bioéthanol, de l'ETBE, du biobutanol

Méthanol = alcool de bois, sous réserve de ne pas dépasser la ressource

Filière gaz:

Le biométhane, issu du biogaz, est difficilement stockable, donc le meilleur usage serait d'alimenter un groupe électrogène

Le GN de synthèse peut être issu du bois par méthanation, avec production de biohydrogène, et peut servir à de multiples usages; C'est l'une des formes de « stockage » de l'électricité, nous l'avons vu dans le diaporama sur le Négawatt.

Autres filières

Comme l'obtention de biocarburant solide, par pyrolyse des feuilles de canne à sucre (en Inde)

Ou encore le gazogène, dont l'usage s'est répandu modestement pendant la deuxième guerre mondiale.

Canne à sucre : pour produire des agrocarburants



Filières de seconde génération

- Filière ligno-cellulosique biocombustible
- Utilisation des termites
- Fermentation des sucres
- Ulve
- Jatropha Curcas
- ...
- Ce sont les biocarburants de l'aviation : émet 75% de CO₂ de moins que le kérosène

Filière ligno-cellulosique biocombustible : prive les sols de la matière organique dont ils manquent déjà

Utilisation des termites : programme des Nations-Unies pour l'environnement

Fermentation des sucres pour produire du CO₂ et nourrir des microalgues : bilan carbone à évaluer (cf. énergie algale, nous en avons parlé lors du précédent diaporama)

Ulve = laitue de mer à l'étude au Danemark

Jatropha Curcas = fruit oléagineux, alternative aux palmiers et au soja pour le Sud

D'autres plantes peuvent être utilisées...

Ce sont les biocarburants de l'aviation : émet 75% de CO₂ en moins que le kérosène

Utilisation des bactéries des termites pour la production d'éthanol



Filières de troisième génération

- Algocarburants
- Couplage avec source de CO₂
- Très bons rendements, mais...

Algocarburants

Il faut un couplage avec source de CO₂ (centrale thermique, usine de fermentation alcoolique), comme on l'a vu dans le diaporama sur les énergies marines

Les rendements sont très bons par rapport aux autres biocarburants de deuxième génération (1,5%, mais ils restent cependant dix fois inférieur aux rendements de conversion du solaire en électricité), mais il y a un mais:

Ce sera 10 euros le litre, ma bonne dame!

On compte 80% de pertes de carburant microalgal dans un moteur thermique

L'algoculture nécessite engrais et substances chimiques

On travaille sur des OGM actuellement...

Il n'y a aucune étude d'impact sur l'environnement

Quelques chiffres

- Diester en 2005 : 4 Mt (Allemagne 45%)
- Bioéthanol 2005 : 36 Mt (37% Amsud, 36% AmNord)
- Consommation pétrole 2005 pour transports (60% de la consommation totale) : 2000 Mt
- 2008, France : biocarburants = 5,71% de l'ensemble des carburants
- 2008, Europe : agrocarburants consommés = 10 Mtep

Intérêt géostratégique

- Source de carburant
- Débouché agricole

Source de carburant

En théorie les biocarburants sont capables de remplacer le carburant fossile, à condition de disposer de 20 millions de km² de palmiers à huile

L'autre limite est le rendement de conversion de l'énergie solaire en biomasse par la photosynthèse (soit 2% sans enrichissement en CO₂ de l'atmosphère)

En France, cela équivaldrait à couvrir le pays de culture agricoles de maïs. C'est donc un élément négligeable d'une politique énergétique, sauf en cas d'économies drastiques des dépenses énergétiques...

Débouché agricole

La concurrence avec la production agricole, et aussi l'augmentation de la demande (déplacement de la production et augmentation de la demande en terres cultivées, sauf pour les algocarburants), forment également un risque à terme

Une conséquence est la hausse des prix agricoles

Une autre est l'instabilité sociopolitique dans les pays pauvres, avec le risque d'émeutes de la faim

Bilan environnemental

■ Trois aspects

- Économies de carburants fossiles et réduction des GES
- Impacts sur la biodiversité
- Pollution des biocarburants variable selon les types de carburants

Économies de carburants fossiles et réduction des GES

Le bilan carbone est neutre en-dehors du travail humain pour les récolter;

L'ADEME estime en 2006 qu'il existe un bénéfice pour les deux

Et plus encore pour les oléagineux ou les plantes de croissance rapide en milieu aride

Impacts sur la biodiversité

Le risque majeur est constitué des engrais et des produits phytosanitaires;

Un autre risque est de réduire la biodiversité et d'accélérer l'érosion des sols et la déforestation

À terme : pollution des eaux, épuisement des sols, destruction de milieux naturels

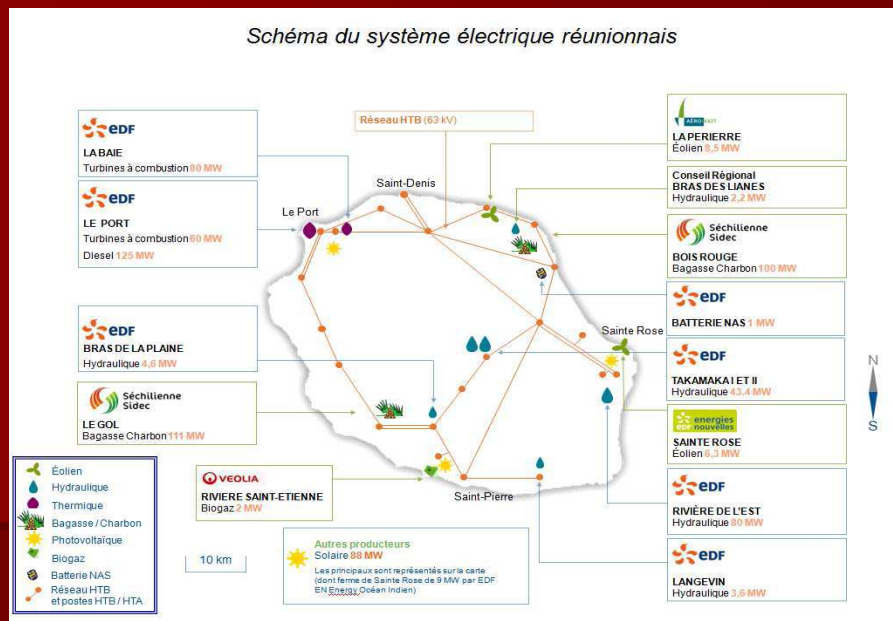
Dans l'air : plus d'ozone => asthme et smog

Donc **MIRAGE!** L'essentiel = diminuer la consommation en carburants

Pollution des biocarburants variable selon les types

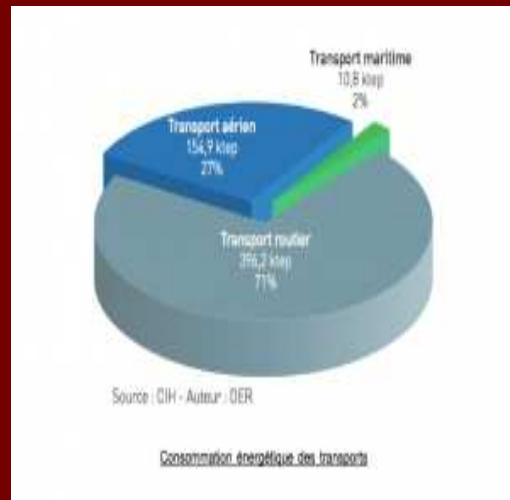
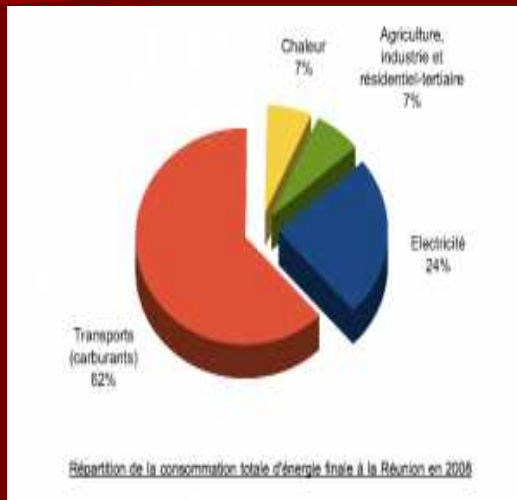
Alors que faire de
toutes ces formes
d'énergie à La
Réunion?

Système électrique réunionnais



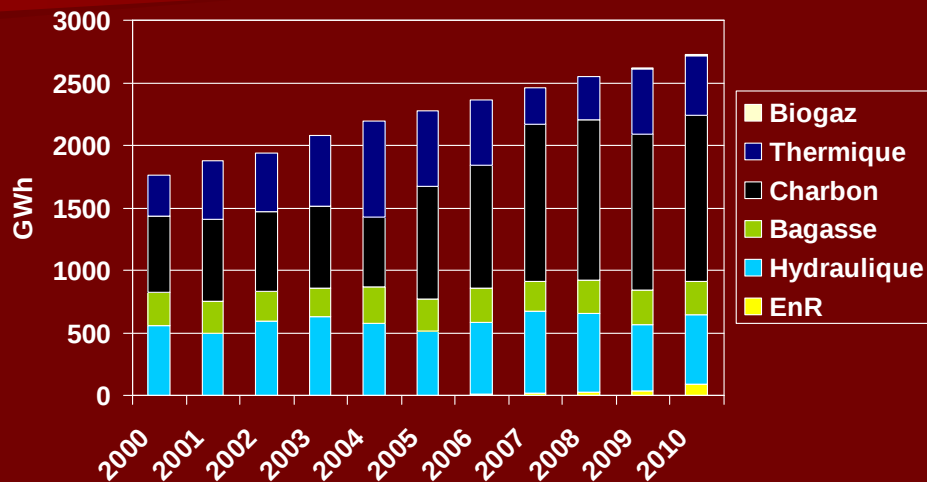
Voici les différentes sources d'énergie électrique réunionnaise, le bouquet énergétique électrique réunionnais. Signalons la sous-traitance de la production électrique par une entreprise privée, la Séchilienne, dans les centrales thermiques à charbon et bagasse.

Répartition des consommations d'énergie finale en 2008



Vous avez sur ces camemberts la répartition des usages de l'énergie globale à La Réunion, à gauche, et à droite, la répartition des carburants dans les transports. La part des carburéacteurs n'est pas si importante, celle des fuels à bateaux contingente. Pour dire quoi? 71% des 62% de l'énergie réunionnaise importée sert aux déplacements routiers, professionnels ou non, soit près de la moitié (44%) de notre énergie globale! **Il y a là d'importantes économies à faire**

Consommation électrique à La Réunion

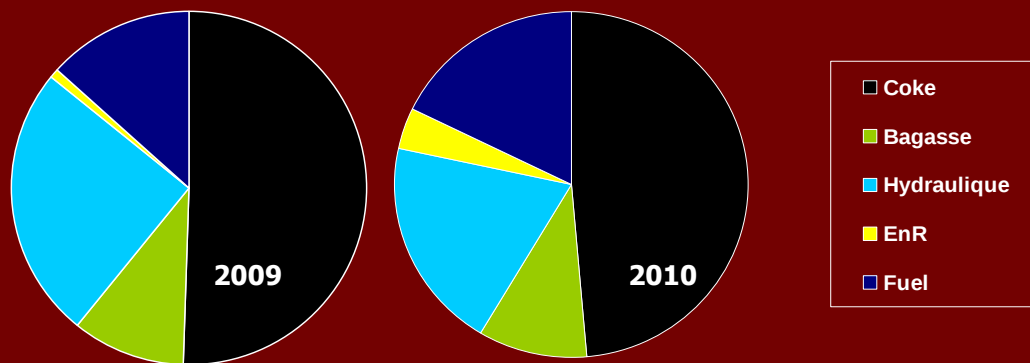


EDF nous informe qu'en 2009, la consommation est de 2618 GWh, et en 2010 de 2699 GWh, soit une progression annuelle de:

- 6.7% entre 1995 et 2000
- 5.3% entre 2000 et 2005
- 3.5% entre 2005 et 2010

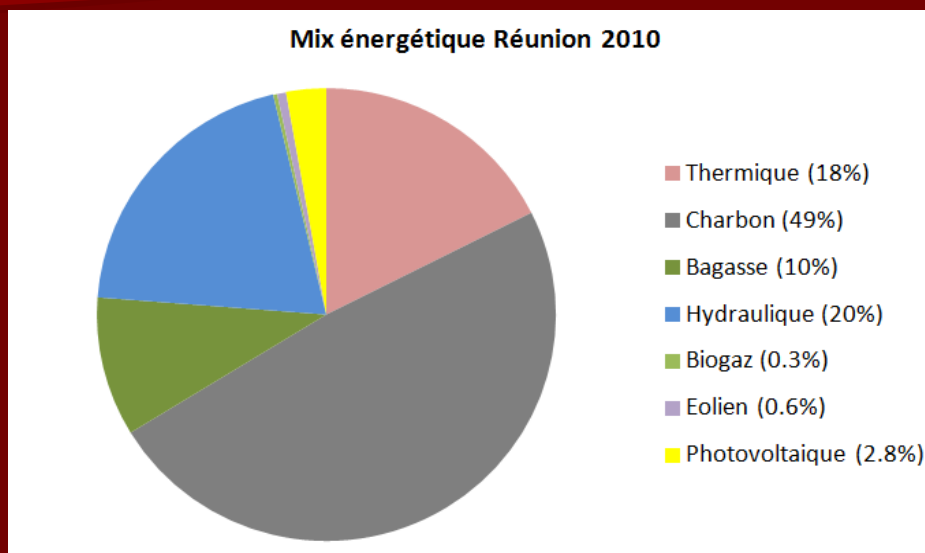
Ce ralentissement de la croissance de la consommation, malgré l'augmentation de la population incite à penser que la stabilité voire le négawatt peuvent être obtenus, par une MDE rigoureuse, des économies dans le bâtiment, l'usage des climatiseurs, l'utilisation d'eau profonde océanique.

Sources d'énergie électrique à La Réunion



Malgré l'augmentation des EnR dans le bouquet énergétique, la part des énergies fossiles augmente, liée à l'augmentation de la consommation globale, ce qui fait que l'avantage procuré par la croissance des EnR fluctuantes se noie dans le bruit de fond de cette augmentation.

Mix énergétique réunionnais 2010



La part délivrée d'énergie électrique liée à la bagasse seule est de 270 GWh, soit 10%. La part globale d'EnR fluctuantes ou non est de 34%, malgré une fort progression du PV (88 MW installés, 2.8% de l'énergie soit 75 GWh). L'hydraulique fournit 20.5% (553 GWh). L'éolien, avec 14.8 MW installés, fournit 0.6%, soit 16 GWh. Le charbon fournit 49%, soit 1322 GWh, le thermique (fuel, gaz, et diesel) fournit 485 GWh, le biogaz fournit 8 GWh.

Ceci doit nous alerter: la part des énergies fluctuantes, éolien ou PV, déjà limitée par un texte de Loi, ne pourra jamais couvrir les besoins des Réunionnais en électricité. Il nous faut donc imaginer dès maintenant des EnR garanties, pour remplacer à terme pas si lointain (moins de 20 ans), l'énergie fossile. La porte est grande ouverte pour la géothermie, la biomasse, ou les énergies marines. Déplacer l'ETM vers la Martinique est à mon sens une hérésie énergétique.

Puissance électrique en 2010 (EDF)

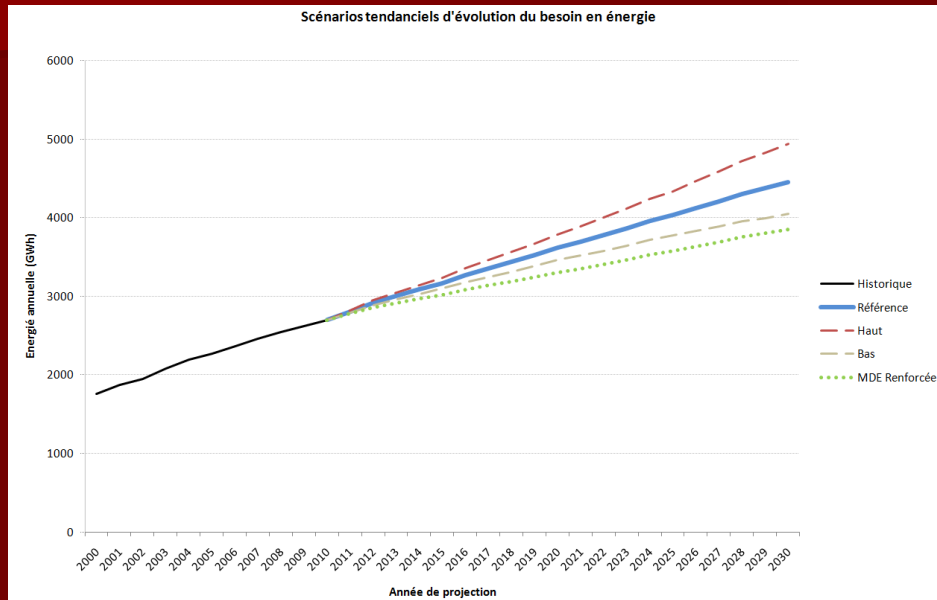
- Éolien (La Périerre, Ste-Rose) : $8.5 + 6.3 = 14.8$ MW
- PV (diffus) : 88 MW (130 MW en service fin 2011)
- Hydraulique (5 sites) : 135 MW = 553 GWh
- Bagasse/Charbon (Le Gol) : 111.5 MW
- Bagasse/Charbon (Bois Rouge) : 100 MW
- Biogaz (Rivière St-Etienne) : 2 MW
- Diesel (Le Port) : 125 MW. Nouvelle centrale de 210 MW mise en service en 2012 (Le Port Est).
- TAC (Le Port, La Baie) : 140 MW. Les 3 turbines du Port (60 MW) non dénitriées ne peuvent dépasser 500 h de fonctionnement annuel.
- Pour un total de 716.3 MW installés, dont 476,5 en énergie thermique, et une consommation de 2699 GWh

La puissance PV actuellement installée à La Réunion est de 130 MW fin 2011. La part potentielle de 30% d'EnR fluctuante dans le mix énergétique fixé par l'arrêté du 23 avril 2008 est déjà dépassée (145 MW).

L'hydraulique a une puissance maximale de 130 MW, une puissance moyenne de 60 MW : seuls Takamaka et Rivière de l'Est sont modulables.

L'énergie fossile représente en 2010 une puissance installée de 66.5%, les EnR fluctuantes de 14.3%, l'hydraulique de 18.8%, le reste est biogaz et pile de St André : c'est une batterie sodium soufre de 1 MW de puissance en service depuis fin 2009 dans le poste source de Saint André. Elle permet de réaliser des cycles journaliers et participera à un projet de R&D pour expérimenter le lissage de la production intermittente et la participation au réglage fréquence puissance du système électrique.

Différents scénarii selon EDF



Développement du parc de production (projets EDF):

- 214 MW d'EnR fluctuantes en 2030;
- Nouvelle centrale de Bois Rouge de 40 MW pour valoriser le surplus de bagasse et la biomasse autre
- Sites hydrauliques potentiels à Takamaka et au Bras de la Plaine
- Projets d'expérimentation en 2014 d'énergie houlomotrice par système CETO de 2-3 MW et Pelamis de 5 MW
- Stockage : PEGASE sur la batterie de Saint-André, et projet avec Enerstock de STEP hydraulique couplé à une batterie lithium ion
- Smart Grids : MILLENER expérimente le pilotage de la charge et de batteries décentralisées couplées à du PV.

Développement et renforcement du réseau imposé par les adaptations nécessaire aux EnR

Scenario Grenelle (EDF)

- Efficacité énergétique
 - Pour passer en-dessous des 2% de croissance de consommation annuelle
- EnR garanties
 - Hydraulique
 - Biomasse
 - Géothermie
- Complété par éolien et PV
- Ultérieurement
 - ETM
 - Énergie houlomotrice

Efficacité énergétique: ralentir encore le taux de croissance de la consommation, pour passer en-dessous de 2%, et ne plus gommer l'effet de croissance des EnR

Les EnR garanties représentent un triple avantage : production constante, production stable, coût compétitif donc surcoût faible pour la collectivité. Les trois domaines ici indiqués sont exploitables :

-hydraulique avec stockage, potentiel de 740 GWh en 2020 (22%)

-biomasse avec cannes à sucre (amélioration des variétés, canne combustible en substitution du charbon, biogaz de décharge et de méthanisation, IOM?). La filière peut produire 520 GWh en 2020 (16%)

-géothermie : Salazie, 160 GWh potentiels (5%)

Complétés par l'éolien et le PV, on peut atteindre 52% en 2020 : 100 GWh pour l'éolien (3%), 200 GWh de PV en 2020 (6%).

Les projets d'énergie thermique sont décrits par EDF comme à plus long terme (ETM, houlomotrices). EDF n'évoque pas les hydroliennes.

Bouquet énergétique réunionnais

Type EnR	carburant	chaleur	électricité
Photovoltaïque	NON	NON	OUI
Éolien	NON	NON	OUI
Hydro-éolien	NON	NON	OUI
Solaire thermique	NON	OUI	OUI
Géothermie	NON	OUI	OUI
Énergies marines	NON	OUI	OUI
Biogaz	OUI	OUI	OUI
Biomasse	OUI	OUI	OUI

Les EnR renouvelables fluctuantes ne peuvent fournir d'énergie calorifique.

Seuls le biogaz et la biomasse peuvent fournir du carburant pour les transports, en-dehors des transports électriques.

Place à la discussion!

- Doit-on suivre les recommandations EDF?
- Comment se débarrasser de l'énergie fossile?
- Où placer les différents centrales?
- À quel terme opérationnelles?
- Que faire en attendant (fuel, gaz, charbon)?
- Maîtrise de l'énergie (MDE)

Comment se débarrasser de l'énergie fossile?

Revient à dire : comment produire en plus 2 TWh d'EnR autres que PV, ou éolien, et que ces EnR soient stables (biomasse, biogaz, géothermie, hydraulique, énergies marines).

Où placer les différents centrales?

Piles : Saint-André + ?

Energie maréthermique : Le Port, Saint- Benoît?

Hydroliennes : Etang-Salé?

Houlomotrices : Saint-Pierre, Etang-Salé?

Hydro-éolien : Grand-Etang + col de Bellevue?

Géothermie : Salazie

À quel terme opérationnelles? EDF prévoit 52% d'EnR en 2020.

Que faire en attendant (fuel, gaz, charbon)?

Maîtrise de l'énergie (MDE)

Bâti? Normes de construction...

Déplacements? Sii accroissement besoins électriques, que faire? Cela augmentera les besoins en électricité. La canne réunionnaise suffira-t-elle à couvrir les besoins en biocarburants? La réponse est NON!

Chauffage (solaire thermique) ou rafraîchissement (énergie maréthermique)?

Le scénario MDE renforcé d'EDF laisse entrevoir une consommation électrique de l'ordre de 3800 GWh en 2030