

Canevas commun de profil énergétique pour les îles

Version :

1.2

Production :

M. AL SHAKARCHI, chef de projet Island-NEWS – ARER (Réunion - France)

Comité de validation :

M. MUNGUR, Ag Principal Planner - Ministry of Public Utilities (Maurice)

Dr ZOGRAFAKIS, director - Regional Energy Agency of Crete (Crete – Grèce)

M. MELIM MENDES, director – Regional Energy and Environment Agency of the autonomous region of Madeira (Madeira – Portugal)

M. IBRAHIM, chargé de mission énergie - Conseil Général (Mayotte - France)

Dr RAKOTONIAINA, Professeur - Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (Madagascar)

Mlle GILBOIRE, chargée de mission Observatoire de l'Energie Réunion – ARER (Réunion - France)

Date de validation : 3 Décembre 2006

Table des matières

Introduction	3
Productions primaires et importations	4
Productions secondaires et consommations du secteur énergétique	6
Consommations énergétiques finales	10
Bilan de synthèse.....	11
Bibliographie	13
ANNEXE 1 : Définitions.....	14
Consommation.....	14
Taux d'indépendance énergétique.....	14
Énergie.....	14
Électricité et chaleur.....	15
Pouvoir calorifique	16
ANNEXE 2 : Méthodes de calculs et équivalences	17
Méthodes de calculs	17
Équivalences.....	18
ANNEXE 3 : Tableau de conversions et de contenus énergétiques.....	20
ANNEXE 4 : Productivité des capteurs solaires thermiques.....	22
Productivité brute.....	22
Productivité comparée	24

Introduction

Ce document présente un canevas commun de définition des profils énergétiques insulaires. Ce canevas est produit dans le cadre du réseau Island-NEWS (Natural Energy Ways toward Self-sufficiency for ISLANDS). Il est donc au service de la coopération inter-îles pour les stratégies d'autonomie énergétique et utilisable par tous les acteurs qui le souhaitent. Au-delà du cas des îles, il peut être utile à toutes les régions du monde.

Ce document traite des questions méthodologiques. Un document vierge Profil énergétique insulaire est aussi disponible pour faciliter le travail des membres du réseau.

Un profil énergétique recense les productions primaires et les importations, les productions secondaires et les consommations du secteur énergétique ainsi que les consommations énergétiques finales. Il propose un bilan énergétique sous la forme d'un tableau synthétique.

Ce profil est en partie inspiré des travaux de la Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières (France, DGEMP) et de ceux de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE, International Energy Agency). La particularité des îles introduit plusieurs évolutions :

- mise en évidence des ressources énergétiques renouvelables sous toutes les formes d'usage (carburant, électricité, chaleur,...)
- mise en évidence de la production et consommation de chaleur (cogénération incluse)
- simplification en évitant les questions suivantes :
 - o corrections climatiques
 - o consommations finales non-énergétiques

Dans ce document de méthodologie, nous traiterons, dans l'ordre, de la composition d'un profil énergétique :

- Productions primaires et importations
- Productions secondaires et consommations du secteur énergétique
- Consommations énergétiques finales
- Bilan de synthèse

Il est ici fait le choix d'utiliser le ktep (kilotonne équivalent pétrole) comme principale unité. En annexe, se trouvent les définitions, les méthodes de calcul et les équivalences et un tableau des unités et conversions.

Productions primaires et importations

Cette partie s'intéresse à l'approvisionnement énergétique en terme de :

- production d'énergies primaires
- importations, exportations et évolution des stocks des énergies primaires et secondaires

Ces points doivent être détaillés par énergie.

Une présentation par tableau est suffisante. Les tableaux présentés ici correspondent au cas où les îles ne disposent que de ressources renouvelables et n'importent/exportent/stockent que des énergies provenant de ressources fossiles ou de l'électricité. Un autre cas peut facilement être construit à partir des éléments proposés dans ce canevas commun.

Une carte montrant les zones de productions locales ainsi que les terminaux portuaires et les voies d'acheminement serait utile.

Pour une définition précise des énergies primaires et secondaires ainsi qu'une méthodologie de calcul, se rendre en annexes 1 et 2.

Ressources locales (année XX) :

Ktep	Production
Biomasse et déchets - solides	
Bois	
Déchets de la sylviculture et de l'industrie du papier	
Cultures énergétiques	
<i>Pour le bio-ethanol</i>	
<i>Pour le bio-diesel</i>	
<i>Autres</i>	
Déchets solides de l'agriculture	
<i>Bagasse (de l'industrie cannière)</i>	
<i>Pomace (de la production d'huile d'olive)</i>	
<i>Autres</i>	
Lisiers animaliers	
Déchets municipaux solides	
Biomasse et déchets –liquides	
Déchets liquides de l'agriculture	
<i>Mélasse (de l'industrie cannière)</i>	
Huiles alimentaires usagées	
Huiles de moteur usagées	
Energie solaire	
Energie hydraulique	
Energie éolienne	
Energie Géothermique	

Comptabiliser la production (en ktep) de la biomasse et des déchets se fait facilement à partir des quantités physiques et en appliquant les coefficients d'équivalence.

Pour les autres énergies, il est nécessaire de comptabiliser les productions sous leur forme d'usage (électricité et chaleur) en kWh et d'appliquer un coefficient de conversion qui dépend du moyen de production : 0.086 tep/MWh en général, sauf pour l'électricité géothermique : 0.86 tep/MWh

Ressources fossiles (année XX) :

ktep	Importations	Exportations	Stocks	Total Net
Charbon				
Houille				
Coke de houille				
Agglomérés et briquette de Lignite				
Lignite et produits de récupération				
Pétrole				
Pétrole brut				
Fioul lourd				
Essence				
Diesel				
Kérosène et carburéacteur				
GPL				
Gaz naturel				
Electricité				

Productions secondaires et consommations du secteur énergétique

Dans ce chapitre sont présentées toutes les transformations des énergies (primaires ou secondaires) en énergies secondaires. Les énergies primaires peuvent aussi être consommées par les usagers finaux sous leur forme brute (le gaz ou le bois par exemple).

Ces énergies secondaires sont :

- les produits pétroliers raffinés
- le charbon de bois et autres formes solides transformées
- les biocarburants et autres carburants provenant de la collecte des huiles usagées
- les gaz provenant de la biomasse
- l'électricité
- la chaleur

Dans un proche futur, il faudra certainement inclure le froid comme énergie secondaire.

Les transformations prises en compte sont :

- le raffinage
- les transformations solides de la biomasse :
 - o la carbonisation du bois
 - o ...
- les transformations liquides de la biomasse :
 - o la production de biocarburant à partir de biomasse solide
 - o la production de carburant après collecte des huiles usagées
- les transformations gazeuses de la biomasse :
 - o la méthanisation
 - o la gazéification du bois
- la cogénération
- la production centralisée d'électricité
- la production centralisée de chaleur
- la production décentralisée d'électricité
- la production décentralisée de chaleur

Dans le cas des productions centralisées d'électricité et de chaleur, il convient de distinguer la production brute, la production nette, l'usage interne ainsi que les pertes et ajustements (notamment dues au réseau).

Les informations dans ce chapitre recensent :

- les moyens de transformation :
 - o nature
 - o puissance et durée approximative de fonctionnement
 - o âge et fin de vie programmée
- les productions (voir tableau en fin de chapitre) :
 - o nature
 - o quantités
- les réseaux de distribution :
 - o nature
 - o longueur

Une carte montrant la répartition géographique des moyens de transformation et des réseaux de distribution serait aussi très utile.

Raffinage

Nom	Capacité	Durée de fonctionnement	Age et fin de vie programmée

Consommations et Productions totale par type de produit pétrolier.

Carbonisation du bois et transformations solides de la biomasse

Nom	Capacité	Durée de fonctionnement	Age et fin de vie programmée

Consommations et Productions totales de charbon de bois.

Production de biocarburant

Nom	Capacité	Durée de fonctionnement	Age et fin de vie programmée

Consommations et Productions totale par type de biocarburant

Gazéification du bois / méthanisation

Nom	Capacité	Durée de fonctionnement	Age et fin de vie programmée

Consommations et Productions totale par type de gaz

Production centralisée d'électricité et de chaleur

Nature	Nom	Puissance	Durée de fonctionnement	de	Age et fin de vie programmée
Centrale cogénération					
Centrales thermiques charbon					
Centrales thermiques ...					
....					
Centrales hydrauliques					
Fermes éoliennes					
Centrales solaires					
Fermes géothermiques					

Consommations et Productions d'électricité et de chaleur :

- production brute
- usage interne
- pertes et ajustements

Production décentralisée d'électricité et de chaleur

	Nbre installation	Surface (m ²)	Puissance	Durée de fonctionnement	de	Age moyen et fin de vie
PV connecté						
PV isolé						
Solaire thermique						

Consommations et Productions totales d'électricité et de chaleur

Réseau de distribution

Carburants		
Stations	Nbre	capacités
Electricité		
HT	Longueur km	(voltage)
BT	Longueur km	(voltage)

Tableau des productions et consommations du secteur de l'énergie

en -, les consommations en ktep

en +, les productions

Charbon	Pétrole		Gaz	Biom-solide		Biom-liqu		Biom-gaz transf	Hydrau	Solaire	Eolien	Géotherm	Electricité		Chaleur	
	Brut	Raffiné		Brute	Transf	Brute	Transf						prod	conso	prod	conso

cellules hachurées: à ne pas remplir

Production secondaire et consommation de la branche énergie

Raffinage																
Transfo solide de la biomasse																
Transfo liquide de la biomasse																
Transfo gazeuse de la biomasse																
Cogénération																
Usages internes de la branche																
Pertes et ajustement																
Production centralisée d'électricité																
Usages internes de la branche																
Pertes et ajustement																
Production centralisée de chaleur																
Usages internes de la branche																
Pertes et ajustement																
Production décentralisée d'électricité																
Production décentralisée de chaleur																
TOTAL (P2)																

Consommations énergétiques finales

Dans cette partie, les consommations finales sont présentées en distinguant les secteurs suivants :

- industrie
- agriculture
- tertiaire
- résidentiel
- transports :
 - o terrestres
 - o maritimes
 - o aériens

Il ne sera pas toujours possible de différencier ces secteurs. Il sera alors possible d'associer certaines consommations de plusieurs secteurs, notamment électricité et chaleur dans les secteurs tertiaire et dans le résidentiel.

Il faudra tenir compte de toutes les consommations, en particulier la chaleur.

Il sera utile de présenter les variations de consommations (par secteur et par énergie) par rapport aux années précédentes.

Bilan de synthèse

Le bilan de synthèse reprend les consommations, productions, importations, exportations et évolutions des stocks présentées dans les chapitres précédents.

Il ne présente pas les consommations non-énergétiques ni les corrections climatiques.

Tous les mouvements d'énergies sont exprimés en ktep.

Les consommations sont exprimées négativement et les productions positivement pour suivre les conventions de l'AIE.

Bibliographie

Books:

OECD/IEA & Eurostat, *Energy Statistics Manual*, IEA PUBLICATIONS, Paris, 2004.

Observatoire de l'énergie (DGEMP), *Les énergies renouvelables en France 1970-2005*, Syndicat des Energies Renouvelables, Paris 2006.

Web sites:

DGEMP (Ministère de l'industrie), méthodes:

http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se_method.htm

Outils Solaires, productivité des capteurs solaires thermiques :

<http://www.outilssolaires.com/Fabricants/prin-compare.htm>

ANNEXE 1 : Définitions

Ici, sont données les définitions des termes utilisés dans les profils énergétiques.

Consommation

Consommation d'énergie finale : consommation d'énergie finale - nette des pertes de distribution (exemple : pertes en lignes électriques) - de tous les secteurs de l'économie, à l'exception des quantités consommées par les producteurs et transformateurs d'énergie (exemple : consommation propre d'une centrale thermique). La consommation finale énergétique exclut les énergies utilisées en tant que matière première (dans la pétrochimie notamment).

Consommation d'énergie primaire : consommation finale + pertes + consommation des producteurs et des transformateurs d'énergie (branche énergie). La consommation d'énergie primaire permet de mesurer le taux d'indépendance énergétique national, alors que la consommation d'énergie finale sert à suivre la pénétration des diverses formes d'énergie dans les secteurs utilisateurs de l'économie.

Taux d'indépendance énergétique

Rapport entre la production nationale d'énergies primaires (charbon, pétrole, gaz naturel, nucléaire, hydraulique, énergies renouvelables) et les disponibilités totales en énergies primaires, une année donnée. Ce taux peut se calculer pour chacun des grands types d'énergies ou globalement toutes énergies confondues. Un taux supérieur à 100% (cas de l'électricité) traduit un excédent de la production nationale par rapport à la demande intérieure et donc un solde exportateur.

Taux d'indépendance énergétique = production d'énergie primaire (P) / Total disponibilités (D)

Énergie

Énergie primaire : énergie brute, c'est-à-dire non transformée après extraction (houille, lignite, pétrole brut, gaz naturel, biomasse solide/liquide, énergie hydraulique, solaire, éolienne, géothermique).

Énergie secondaire ou dérivée : toute énergie obtenue par la transformation d'une énergie primaire ou secondaire (en particulier électricité d'origine thermique).

Énergie finale ou disponible : énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer,...).

Énergies renouvelables (ENR) : les sources renouvelables sont les formes solide, liquide et gazeuse de la biomasse et des déchets verts, l'électricité hydraulique, éolienne, photovoltaïque, d'origine solaire concentré, géothermique (haute enthalpie) et maritime (vagues, courants et marées) ainsi que la chaleur d'origine solaire thermique et géothermique.

Les formes primaires d'ENR sont :

- biomasse et déchets - solide avant transformation : bois, bagasse, végétaux filières « sucre », végétaux filières « huile », déchets verts
- Biomasse et déchets – Liquide avant transformation : huiles alimentaires usagées, huiles moteur usagées
- Energie solaire : comptabilisée en appliquant un coefficient de 0.086tep/MWh à la production de solaire thermique, solaire PV et solaire concentré
- Energie hydraulique : comptabilisée en appliquant un coefficient de 0.086tep/MWh à la production
- Energie éolienne : comptabilisée en appliquant un coefficient de 0.086tep/MWh à la production
- Energie Géothermique : comptabilisée en appliquant un coefficient de 0.086tep/MWh à la production de chaleur et 0,86tep/MWh à la production d'électricité

Les formes finales d'ENR sont :

- biomasse et déchets - Solide : bois-énergie, charbon de bois, déchets verts
- Biomasse et déchets – Liquide : huiles usagées filtrées, bioéthanol, biodiesel
- Biomasse et déchets – Gaz : biogaz, gaz provenant du bois
- Electricité
- Chaleur

Électricité et chaleur

Électricité primaire : électricité d'origine nucléaire

Chaleur primaire : chaleur d'origine nucléaire

Cogénération : production conjointe d'électricité et de chaleur à partir de sources primaires ou secondaires.

Production secondaire d'électricité : production d'électricité par la transformation de sources primaires ou secondaires.

Production secondaire de chaleur : production de chaleur par la transformation de sources primaires ou secondaires.

Production centralisée d'électricité ou de chaleur : unités relativement importantes produisant pour la consommation d'autrui

Production décentralisée d'électricité ou de chaleur : petites unités produisant uniquement pour de l'autoconsommation

Valeur brute : production mesurée aux bornes des centrales ; avant usage interne et pertes.

Usage interne : auto-consommation du secteur énergétique

Pertes et ajustement : pertes dans les transformateurs et dans le réseau

Pouvoir calorifique

Quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de combustible considéré. La notion de pouvoir calorifique ne s'applique donc qu'aux combustibles. On distingue notamment :

- ❖ pouvoir calorifique supérieur (PCS) qui donne le dégagement maximal théorique de la chaleur lors de la combustion, y compris la chaleur de condensation de la vapeur d'eau produite lors de la combustion ;
- ❖ pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui exclut de la chaleur dégagée la chaleur de condensation de l'eau supposée restée à l'état de vapeur à l'issue de la combustion.

Nota : dans la pratique, la différence entre PCS et PCI est de l'ordre de grandeur suivant :

Gaz naturel : 10%

Gaz de pétrole liquéfié : 9%

Autres produits pétroliers : 7-8%

Combustibles solides : 2-5%

ANNEXE 2 : Méthodes de calculs et équivalences

Dans cette partie, nous abordons le calcul des énergies dans un profil énergétique. Cela signifie qu'il s'agit de mesurer des données relatives à chaque énergie puis d'utiliser des règles d'équivalences. Pour ce qui est des équivalences, le choix est fait d'utiliser la méthode commune aux organisations internationales concernées (Agence Internationale de l'Énergie, Eurostat,...). La source est la DGEMP.

Méthodes de calculs

En ce qui concerne les énergies qui peuvent être mesurées à partir d'unités physiques, il suffit de faire un inventaire physique des productions, importations et consommations et d'utiliser les équivalences du tableau suivant.

Cela est le cas pour les énergies fossiles et les énergies provenant de la biomasse et les déchets verts.

Pour les autres énergies, il est nécessaire de mesurer l'électricité et la chaleur produite puis d'appliquer des coefficients d'équivalence.

Pour l'électricité, il existe trois cas :

- ❖ **l'électricité produite par une centrale nucléaire** est comptabilisée selon la méthode de l'équivalent primaire à la production, avec un rendement théorique de conversion des installations égal à 33% ; le coefficient de substitution est donc $0,086/0,33 = 0,260606$ tep/MWh ;
- ❖ **l'électricité produite par une centrale à géothermie** est aussi comptabilisée selon la méthode de l'équivalent primaire à la production, mais avec un rendement théorique de conversion des installations égal à 10% ; le coefficient de substitution est donc $0,086/0,10 = 0,86$ tep/MWh ;
- ❖ **toutes les autres formes d'électricité** (production par une centrale thermique classique, hydraulique, éolienne, marémotrice, photovoltaïque, etc., échanges avec l'étranger, consommation) sont comptabilisées selon la méthode du contenu énergétique, avec le coefficient 0,086 tep/MWh.

Pour la chaleur, le même coefficient est utilisé : 0,086 tep/MWh. La difficulté provient de la mesure des MWh produits, notamment en ce qui concerne le solaire thermique :

- un calcul précis est possible en sommant la production de chacune des installations
- Une autre option serait d'établir des productions moyennes par m² selon les différentes zones climatiques de chaque île et de les multiplier par les surfaces dans chaque zone.
- Une option supplémentaire serait d'estimer une production moyenne pour l'île entière et de la multiplier par la surface totale.
- Enfin, une dernière option serait d'utiliser une production moyenne commune aux îles de même climat.

En 2005, la moyenne pour les DOM françaises était de 57 tep / 1000m².

Pour plus de détails voir l'annexe 4 : Productivité des capteurs solaires thermiques.

Equivalences

Énergie	Unité physique	en gigajoules (GJ) (PCI)	en tep (PCI)
Charbon			
Houille	1 t	26	26/42 = 0,619
Anthracite	1 t	30	30/42 = 0.714
Lignite et produits de récupération	1 t	17	17/42 = 0,405
Tourbe	1 t	12,6	12,6/42 = 0.3
Coke de houille	1 t	28	28/42 = 0,667
Agglomérés et briquettes de lignite	1 t	32	32/42 = 0,762
Pétrole brut et produits pétroliers			
Pétrole brut	1 t	42	1
Fioul lourd	1 t	40	40/42 = 0,952
Gazole	1t	42	42/42 = 1
Fioul domestique	1t	42	42/42 = 1
Coke de pétrole	1 t	32	32/42 = 0,762
GPL	1 t	46	46/42 = 1,095
Essence moteur et carburacteur	1 t	44	44/42 = 1,048
Gaz naturel et industriel			
Méthane pur	1000 m3	45.8	45.8/42 = 1.09
Gaz naturel	1000 m3	41,9	41,9/42 = 1
Biomasse et déchets solides			
Bois (30% humidité)	1 t	10,8	10,8/42 = 0,257
Bois sec	1 t	18,3	18,3/42 = 0.435
Charbon de bois	1 t	26	26/42 = 0,62
Paille	1 t	14,3	14,3/42 = 0,34
Colza	1 t	26	26/42 = 0.587
Palme	1 t		
Tournesol	1 t	20	20/42 = 0.478
Blé	1 t	15,5	15.5/42 = 0.369
Maïs	1 t	16	16/42 = 0.381
Betterave	1 t		
Canne à sucre	1 t	17	17/42 = 0.405
Bagasse	1 t	7,77	7,77/42 = 0.185
<i>Almond prunings</i>	1t	18,4	0,43792
<i>Apple prunings</i>	1t	17,8	0,42364
<i>Apricot prunings</i>	1t	19,3	0,45934
<i>Barley straw</i>	1t	17,5	0,4165
<i>Cherry prunings</i>	1t	19,1	0,45458
<i>Corn cobs</i>	1t	18,4	0,43792

Corn stalks	1t	18,5	0,4403
Cotton stalks	1t	18,2	0,43316
Durum wheat straw	1t	17,9	0,42602
Lemon prunings	1t	17,6	0,41888
Oats straw	1t	17,4	0,41412
Olive prunings	1t	18,1	0,43078
Orange prunings	1t	17,6	0,41888
Peach prunings	1t	19,4	0,46172
Pear prunings	1t	18	0,4284
Rice straw	1t	16,7	0,39746
Soft wheat straw	1t	17,9	0,42602
Sugarbeet leaves	1t	14,6	0,34748
Sunflower straw	1t	14,2	0,33796
Tangerine prunings	1t	17,6	0,41888
Tobacco stems	1t	16,1	0,38318
Vineyard prunings	1t	18,3	0,43554
Déjections animales	1 t		
Déchets urbains	1 t	7,77	7,77/42 = 0,185
Biomasse et déchets liquides			
Huiles alimentaires usagées	1 t		
Huiles de moteur usagées	1 t	42	42/42 = 1
bioéthanol	1t	26,8	26,8/42 = 0,638
ester	1t	37,8	37,8/42 = 0,9
ETBE	1t	35,88	35,88/42 = 0,854
EMHV	1t	37,4	37,4/42 = 0,890
Biomasse et déchets gazeux			
Biogaz	1000 m3	24	24/42 = 0,57
Électricité			
Production d'origine nucléaire	1 MWh	3,6	0,086/0,33 = 0,260606...
Production d'origine géothermique	1 MWh	3,6	0,086/0,10 = 0,86
Autres productions et échanges	1 MWh	3,6	3,6/42 = 0,086
Chaleur			
Toute variation	1 MWh	3,6	3,6/42 = 0,086

ANNEXE 3 : Tableau de conversions et de contenus énergétiques

Les unités dérivées du système international

Grandeur	Nom	Symbole	Correspondances
Force	Newton	N	1 kgf = 9,81 N
Travail, Energie, Quantité de chaleur	Joule	J ou N.m	Kilowattheure 1 kWh = 3,6 10 ⁶ J
Puissance, Flux énergétique	Watt	W ou J/s ou N.m/s	1 kcal/h = 1,16 W

Les unités d'énergie représentent des petites quantités. Pour cette raison, ces unités sont souvent utilisées avec des préfixes traduisant des multiples de 10.

Les puissances de 10

déca (da) 10	déci (d) 10 ⁻¹
hecto (h) 10 ²	centi (c) 10 ⁻²
kilo (k) 10 ³	milli (m) 10 ⁻³
méga (M) 10 ⁶	micro (μ) 10 ⁻⁶
giga (G) 10 ⁹	nano (n) 10 ⁻⁹
tera (T) 10 ¹²	pico (p) 10 ⁻¹²
peta (P) 10 ¹⁵	femto (f) 10 ⁻¹⁵
exa (E) 10 ¹⁸	atto (a) 10 ⁻¹⁸

Les lettres ci-dessus entre parenthèses sont les préfixes qui traduisent les puissances de 10 des unités considérées (exemple : 1 MJ = 10⁶ joules = un million de joules)

Les unités utilisées

La tonne d'équivalent pétrole (tep) est une unité de mesure couramment utilisée par les économistes de l'énergie pour comparer les énergies entre elles. C'est l'énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole moyen.

1 tep équivaut aussi environ à : 10¹⁰ cal (10 milliards de calories), soit 10⁴ thermies

On utilise aussi la Mégatep (Mtep=million de tep).

Le kWh est la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner par exemple un appareil d'une puissance de 1 kW ou 1000 W pendant une heure. On utilise aussi le MWh (1 MWh=1000 kWh).

Il y a une correspondance entre la tep et le kWh, permettant de passer d'une unité à l'autre :

1000 kWh=0,086 tep ou inversement 1tep = 11 630 kWh

Le GJ : GigaJoule

Le Btu : British thermal unit.

Le m³ de gaz : les équivalences pour le m³ de gaz (ou normo-m³, aux conditions normales de température et de pression : 0°C, sous 1013 hPa, norme ISO ; par opposition au m³ standard) sont données en énergie PCS (pouvoir calorifique supérieur). L'équivalent en énergie PCI (pouvoir calorifique inférieur) s'obtient en multipliant par 0,9.

Le Therm anglais, unité utilisée par la bourse de Londres pour la cotation du gaz NBP, équivaut à : 29,31 kWh, soit 0,1 MBtu

Les conversions entre unités

1 équivaut à :	GJ	tep	MBtu	kWh	m ³ de gaz *	Baril de pétrole *
1 GJ	1	0,0238 ***	0,948	278	23,89	0,1751
1 tep	41,855 **	1	39,68	11 628	1 000	7,33
1 MBtu	1,0551	0,0252	1	293,1	25,2	0,185
1 kWh	0,0036	0,086 10 ⁻³	3,412 10 ⁻³	1	0,086	630,4 10 ⁻⁶
1 m ³ de gaz	0,041855	10 ⁻³	0,03968	11,628	1	7,33 10 ⁻³
1 Baril de pétrole	5,7	0,1364	5,4	1 580	136,4	1

ANNEXE 4 : Productivité des capteurs solaires thermiques

Informations provenant du site :

<http://www.outilssolaires.com/Fabricants/prin-compare.htm>

Productivité brute

La productivité théorique des capteurs est calculée à partir de deux coefficients :

- Coefficient "B" qui caractérise le rendement optique du capteur (en France sa valeur est établie expérimentalement par le CSTB)
- Le Coefficient "K" qui caractérise les déperditions thermiques du capteur.

Afin d'assurer un rendement élevé d'un capteur : le Coefficient "B" doit être grand et le Coefficient "K" petit.

Tableau montrant les caractéristiques de certains capteurs solaires éligibles au crédit d'impôt, d'après l'avis technique du CSTB

MARQUES de CAPTEURS	Avis Technique CSTB	Coef. CSTB	B	Coef. W/m ² .°C	K
BUDERUS - Logasol SKS	14-00/577	0,79		4,89	
CLIPSOL - TGD Y1200	AT 14 + 5/03-839	0,73		4,26	
DE DIETRICH - Sol 1	4-00/576	0,68		3,82	
GASOKOL - Enersol GKAN et GKAQ	14/02-716	0,77		3,86	
GIORDANO - C8 HI	14/02-747	0,72		4,36	
PHÖNIX - Infinity 21	14+5/02-756	0,72		4,80	
SOLAHART - Solahart Ko	14/01-672	0,79		4,76	
SONNENKRAFT - SK500 (Solar Connexion)	14-00/575	0,76		3,78	
SUNMASTER - SK20 LM (New Point Products)	14/01 – 650	0,77		4,17	
VIESSMANN - Vitosol 100 S1,7	14/00-584	0,76		4,34	
WAGNER - EURO C20 AR	14/03-844	0,85		3,34	
WEISHAUP - WTS-F	14+5/03-793	0,77		2,75	
ZENIT - Thermic	14+5/01-609	0,77		3,62	

Le rendement d'un capteur est défini par la formule :

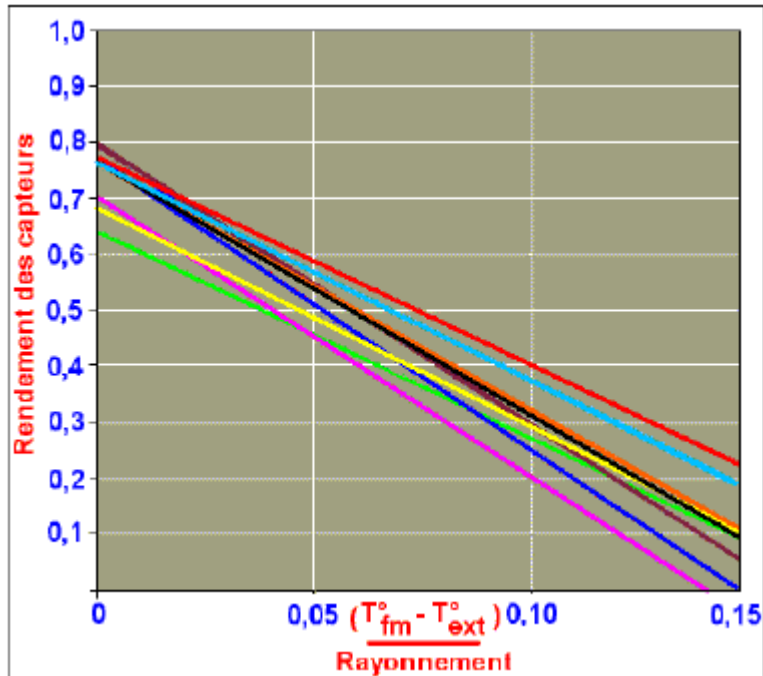
$$\text{Rendement} = \text{Coef.}B - \text{Coef.}K \times \frac{T_{fm} - \text{Text}}{\text{Puissance rayonnement solaire}}$$

T_m = température moyenne du fluide dans le capteur en °C

Text = température ambiante extérieure en °C

Puissance de rayonnement solaire en W/m^2

Soit pour une puissance de rayonnement solaire donnée, le rendement varie en fonction de la différence de température entre le fluide dans les capteurs et la température ambiante.



Graphique montrant le rendement de 9 capteurs par rapport à la valeur $(T_{fm} - T_{ext})/\text{rayonnement}$ solaire par m^2 d'après les Avis Techniques du CSTB.

Note :

- Les lignes graphiques montrent la diminution du rendement avec l'augmentation de la température de l'eau chauffée dans les capteurs.
- C'est surtout l'inclinaison des lignes qui caractérise la performance des capteurs car le point du départ des graphiques est souvent trompeur. En effet, le coefficient B se réfère au rendement optique par m^2 et ainsi, un capteur avec un cadre relativement large est désavantagé. C'est pour cette raison que les noms des capteurs ne sont pas associés aux différentes courbes de rendement.
- Les écarts entre le rendement des capteurs certifiés est relativement faible.

L'institut de technologie solaire suisse SPF effectue des recherches et teste les capteurs solaires depuis 1981. Les résultats des études sont disponibles en ligne à l'adresse suivante: <http://www.solarenergy.ch/spf.php?lang=fr&fam=1&tab=1>

Productivité comparée

La productivité des différents chauffe-eau solaires peut être comparée, en simulant leur utilisation dans la même configuration avec la même consommation d'eau chaude.

Cependant, la taille des capteurs est différent pour chaque fabricant, donc il est impossible de comparer le rendement des capteurs solaires de fabrication différente dans les conditions identiques.

Le tableau montre le taux de couverture solaire et la productivité par mètre carré de capteur pour un chauffe-eau solaire installé à Lyon (le rayonnement solaire reçu par des capteurs à Lyon est de 1425 kWh/m².an, c'est une valeur moyenne pour la France).

La simulation est réalisée avec la méthode SOLO, disponible en ligne sur le site www.tecsol.fr utilisant les valeurs de rendement des différents capteurs publiées dans les avis techniques.

Les caractéristiques du chauffe-eau sont les suivantes :

- Un ballon intérieur de 300 litres, isolé avec 5 cm de laine de verre.
- Une circulation forcée et transfert de chaleur avec un échangeur noyé.
- Une consommation quotidienne de 200 litres à 50°C .
- Entre 4 et 5 m² de capteurs (suivant les dimensions réelles des différentes marques) orientés au Sud et inclinés à 45°.

Marque capteur solaire	de	Nombre de capteurs	Surface utile en m ²	Taux de couverture des besoins	Productivité annuelle en kWh/m ²
BUDERUS - Logasol SKS		2	4,44	59,8 %	440
CHROMAGEN - CR-110 CA		2	4,34	54,5 %	410
CLIPSOL - TGD Y1200		8	4,80	58,2 %	413
DE -DD Sol 1	DIETRICH	2	4,32	55,4 %	418
GASOKOL/SB - GKAN-GKAQ	Thermique	2	4,04	58,1 %	469
GIORDANO - C8 HI		2	4,00	53,9 %	439
MEGASUN - HELIOAKMI LTD ST 2500		2	4,61	51,4 %	364
New Point Products - SUNMASTER SK20 LM		2	4,60	61,6 %	437
PHOENIX - INFINITY 21	Solaire	2	4,26	54,9 %	421
		2	3,68	49,6 %	440

SOLAHART - Mo Oyster	2	3,68	49,6 %	440
	3	5,52	62,5 %	369
Solaire Connexion - SONNENKRAFT SK500	2	4,62	62,2 %	439
VIESSMANN - Vitosol 100 S2.5	2	5,00	63,3 %	413
WAGNER & Co - EURO C20 AR	2	4,78	67,6%	461
WEISHAUP - WTS-F	2	4,56	64,0%	458
ZENIT - Thermic	3	4,14	59,5 %	469

Note :

- Comme la surface utile des capteurs varie suivant le modèle, il est normal que le taux de couverture solaire des besoins est plus importante si la surface utile des capteurs est plus grande.

- La productivité annuelle des capteurs ramenée au mètre carré est liée au rendement des capteurs, mais aussi au taux de couverture. En effet, si le taux de couverture est élevé la productivité au mètre carré diminue. Le cas de Solahart montré dans le tableau est parlant. Si on utilise 3 capteurs au lieu de 2, le taux de couverture des besoins augmente de 49,6% à 62,5% mais la productivité annuelle diminue de 440 à 369 kWh/m². Il est normal qu'une augmentation d'autonomie diminue le rendement global du système, car les déperditions thermiques seront plus importantes en été.

Ceci dit, il est difficile de comparer deux chauffe-eau solaires sans faire une simulation spécifique pour chaque système en intégrant la surface des capteurs, le volume réel du ballon, la qualité de son isolation thermique et la consommation estimée. Le coût des composants est aussi vital, car le but est de couvrir un maximum des besoins d'eau chaude avec un investissement compétitif.