

**FICHE 1****Fiche à destination des enseignants****TS 15****La maison BBC**

<i>Type d'activité</i>	<i>Activité avec étude documentaire</i>	
	<p><b>Notions et contenus du programme de T<sup>erm</sup> S</b></p> <p><b>Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques :</b>  Capacité thermique  Résistance thermique  Bilans d'énergie.</p> <p><b>Enjeux énergétiques</b>  Economies d'énergie</p>	<p><b>Compétences exigibles du programme de T<sup>erm</sup> S</b></p> <p>Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé.  Établir un bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail.</p> <p>Faire un bilan énergétique dans les domaines de l'habitat ou du transport.  Argumenter sur des solutions permettant de réaliser des économies d'énergie.</p>
	<b>Compétences du préambule du cycle terminal</b>	
	<p><b>Démarche scientifique</b>  Mettre en œuvre un raisonnement  Formuler des hypothèses pertinentes  Exercer son esprit critique  Mobiliser ses connaissances  Rechercher, extraire et organiser l'information utile  Maîtriser les compétences mathématiques de base  Communiquer à l'écrit  Maîtriser les compétences langagières (français)</p>	
	<b>Compétences relatives à « Extraire et exploiter des informations »</b>	
	<p><b>Extraire</b>  S'interroger de manière critique sur la valeur scientifique des informations  Choisir de manière argumentée ce qui est à retenir dans des ensembles  Supports d'information :  Textes de vulgarisation  Tableaux de données</p>	<p><b>Exploiter</b>  Identification des grandeurs physiques  Exploitation qualitative  Communication en tant que scientifique</p>
	<b>Compétences relatives à « Mesures et incertitudes »</b>	
	<p><b>Expression et acceptabilité du résultat</b>  Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique.  Associer l'incertitude à cette écriture.</p>	
<i>Commentaires sur l'exercice proposé</i>	<p>Cette activité illustre :</p> <p>la partie  <span style="margin-left: 150px;">« Comprendre : lois et modèles »</span></p> <p>et la sous-partie  <span style="margin-left: 150px;">« Energie, matière et rayonnement »</span></p> <p>la partie  <span style="margin-left: 150px;">« Agir : défis du XXI<sup>ème</sup> siècle »</span></p> <p>et la sous-partie  <span style="margin-left: 150px;">« Economiser les ressources et respecter l'environnement »</span></p> <p>du programme de Terminale S.</p>	
<i>Conditions de mise en œuvre</i>	Durée : 2 h	
<i>Remarques</i>	<p>L'activité peut être traitée au début du thème « Agir : défis du XXI<sup>ème</sup> siècle » : elle permet de faire un lien avec la partie « Energie, matière et rayonnement » du thème « Comprendre : lois et modèles », qui aura été traitée auparavant.</p> <p>Toutes les notions utiles pour la partie 4°) <b>Pompe à chaleur (PAC)</b> (questions 10 à 13) sont données dans le texte : cette partie peut être abordée en accompagnement personnalisé par exemple, pour les élèves les plus à l'aise.</p>	

## FICHE 2

### Texte à distribuer aux élèves

## TS 15 La maison BBC

### 1°) Qu'est-ce qu'un bâtiment BBC ? Le label français BBC – Effinergie Document 1a

#### Qu'est-ce qu'un Bâtiment Basse Consommation ?

Un BBC fait appel à plusieurs technologies dont la combinaison permet d'obtenir une performance énergétique globale particulièrement élevée.

**UNE VENTILATION AMÉLIORÉE**  
Une ventilation double flux est présente dans 45 % des bâtiments neufs, et une ventilation Hygro B dans plus de 60 % des bâtiments de logements en réhabilitation.

**UNE TRÈS FORTE UTILISATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES**  
Dans le neuf, 90 % des bâtiments résidentiels ont recours au solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire, et 45 % des bâtiments tertiaires ont recours au photovoltaïque.

**UNE FORTE ÉTANCHÉITÉ À L'AIR**  
Dans le neuf, tous bâtiments confondus, la perméabilité à l'air moyenne est de  $1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ .

**UN RECOURS ÉVENTUEL AU TRIPLE VITRAGE**  
14 % des bâtiments neufs (en zone H1 et H2, soit l'essentiel du territoire en métropole).

**UN MODE DE CHAUFFAGE PERFORMANT ET ADAPTÉ AUX BESOINS**  
En installant des pompes à chaleur (40 % de l'ensemble des bâtiments tertiaires neufs), des chaudières gaz à condensation (70 % des bâtiments de logements collectifs en réhabilitation), ou des chaudières bois (de 15 à 25 % des bâtiments tertiaires, suivant leur destination).

**UNE ENVELOPPE TRÈS PERFORMANTE**  
Une isolation thermique renforcée des toitures et des parois et, de plus en plus, une isolation par l'extérieur (plus de 60 % de l'ensemble des bâtiments - neuf et réhabilitation) permettent d'obtenir un Ubat moyen de 0,41 dans le neuf, et de 0,57 en réhabilitation.

Magazine Ademe et Vous  
n°46- juin 2011

### Document 1b

#### Qu'est-ce que le label **effinergie**® ?

**effinergie**® est un label de qualité certifiant des bâtiments neufs ayant une très faible consommation d'énergie (label BBC arrêté du 8 mai 2007) et offrant un confort supérieur à la moyenne.

Les constructions neuves labellisées **effinergie**® consomment 4 à 5 fois moins d'énergie que la plupart des bâtiments existants et moitié moins que les constructions neuves réalisées selon la réglementation actuelle.

### Document 1c

#### Des exigences simples

Pour pouvoir obtenir le label **BBC - effinergie**, l'exigence principale est de ne pas dépasser une valeur de consommation de :

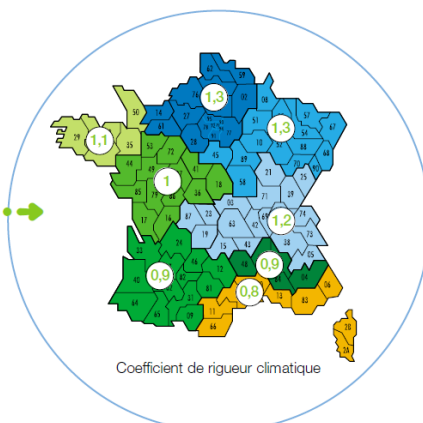
**50 kWh<sub>ep</sub> par m<sup>2</sup> de SHON et par an**

Les calculs sont faits en utilisant la méthode Th-CE qui est celle de la Réglementation Thermique 2005. Les résultats sont donc présentés en kWh d'énergie primaire<sup>(1)</sup> par m<sup>2</sup> de Surface Hors Cœuvre Nette (SHON).

On tient compte de la diversité des climats en multipliant cette valeur de 50 par un coefficient de rigueur climatique. Les valeurs de l'exigence varient donc, selon les régions, entre 40 et 65 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON.an.

Le coefficient de rigueur climatique est augmenté de 0,1 si l'altitude de la construction est comprise entre 400 et 800 m et de 0,2 si l'altitude de la construction est supérieure à 800 m.

Par ailleurs, la perméabilité à l'air du bâtiment doit être mesurée et être inférieure à  $0,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$  en maison individuelle et  $1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$  dans les immeubles collectifs<sup>(2)</sup>.



**Sources doc. 1b, 1c, 1d : guides Effinergie**  
« Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation »  
« Mieux connaître le label Effinergie »

(1) L'énergie primaire permet de prendre en compte les pertes énergétiques lors de la transformation de l'énergie. Elle correspond à l'énergie achetée au distributeur d'énergie (que l'on appelle énergie finale) multipliée par un coefficient qui vaut 2,58 pour l'électricité, 0,6 pour le bois et 1 pour les autres énergies. Ce coefficient 2,58 pour l'électricité prend en compte la chaleur fournie par la centrale électrique qui n'est pas utilisée et qui est évacuée dans l'environnement (mer, rivière...)

(2) Cette valeur quantifie le débit de fuite traversant l'enveloppe, exprimé en  $\text{m}^3/\text{h.m}^2$  d'enveloppe, sous un écart de pression de 4 Pascals, conformément à la Réglementation Thermique RT 2005.

## Document 1d

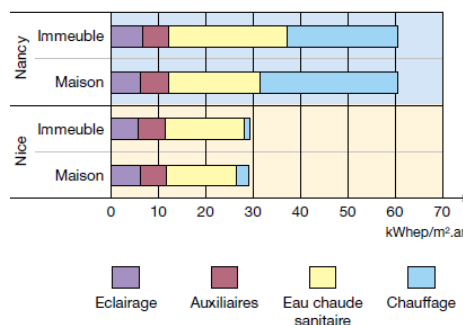
### Cinq usages de l'énergie

Cette consommation à ne pas dépasser porte sur les usages de l'énergie sur lesquels on peut agir dès la conception d'un bâtiment :

- Le chauffage
- L'eau chaude sanitaire
- Les auxiliaires de ventilation et de chauffage
- L'éclairage (via l'éclairage naturel)
- La climatisation

Elle ne comporte donc pas les autres usages de l'électricité (notamment pour l'électroménager, l'audiovisuel, etc.) qui peuvent représenter à eux seuls plus de 50 kWhep/m<sup>2</sup>.an de consommation complémentaire.

Consommations par usage  
(exemples sur 2 bâtiments et 2 climats)



## Question 1

- Les bâtiments dont les consommations d'énergie primaire sont détaillées dans le document 1d satisfont-ils aux exigences du label BBC-Effinergie en termes de consommation d'énergie primaire ?
- Comparer les principaux postes de consommation à Nancy ou à Nice.

## Document 2

Les résultats de l'étude thermique réalisée pour un projet de construction en Ile-de-France d'une maison neuve à ossature bois figurent dans le tableau ci-dessous :

SYNTHESE ENERGETIQUE		
Consommation conventionnelle d'énergie en kWh d'énergie primaire par m <sup>2</sup> de SHON et par an :		
Cep chauffage	Poêle à bois (granulés) :	15,88
	Radiateurs électriques :	4,02
Cep climatisation :		0
Cep eau chaude sanitaire :		50,5
Cep auxiliaires de ventilation et de chauffage :		7,2
Cep éclairage :		7,3

## Question 2

A l'aide des documents 1c et 2 :

- La valeur du Cep chauffage du poêle à bois correspond à l'énergie consommée, en kWh « d'énergie bois » ; calculer la valeur qui sera en fait prise en compte pour l'obtention éventuelle du label BBC, compte-tenu du coefficient de valorisation de l'énergie bois.
- Compte-tenu du coefficient de pénalisation affecté à l'énergie électrique, quelle est la consommation réelle en énergie électrique liée au chauffage, en kWh par m<sup>2</sup> de SHON et par an ?

## Question 3

Expliquez pourquoi le bâtiment évoqué dans le document 2 ne pourra pas obtenir le label BBC-Effinergie.

## Question 4

Afin d'être conforme aux exigences du label BBC, la consommation conventionnelle d'énergie dans le projet de maison évoqué dans le document 2 doit être réduite.

- Quel est le poste principal dans cette consommation d'énergie ?
- Quel(s) équipement(s) permettant de réduire la consommation d'énergie liée à ce poste pourriez-vous proposer au bureau d'études chargé de l'étude thermique de la maison ?

## Question 5

a. En modifiant les équipements liés au poste principal de consommation d'énergie, le bureau d'études thermiques arrive à un projet satisfaisant aux normes BBC, avec une consommation d'énergie primaire de 45,91 kWh / m<sup>2</sup> SHON / an. A quelle valeur la consommation d'énergie du poste modifié a-t-elle été ramenée ?

b. Calculer le pourcentage d'énergie primaire économisée sur ce poste par rapport au projet initial.

c. Sachant que l'énergie consommée dans ce poste correspond à de l'énergie électrique, calculer en Euros, l'économie réalisée annuellement sur la facture d'électricité.

Données : SHON de la maison : 175 m<sup>2</sup>

Coût du kWh EdF = 0,12 €

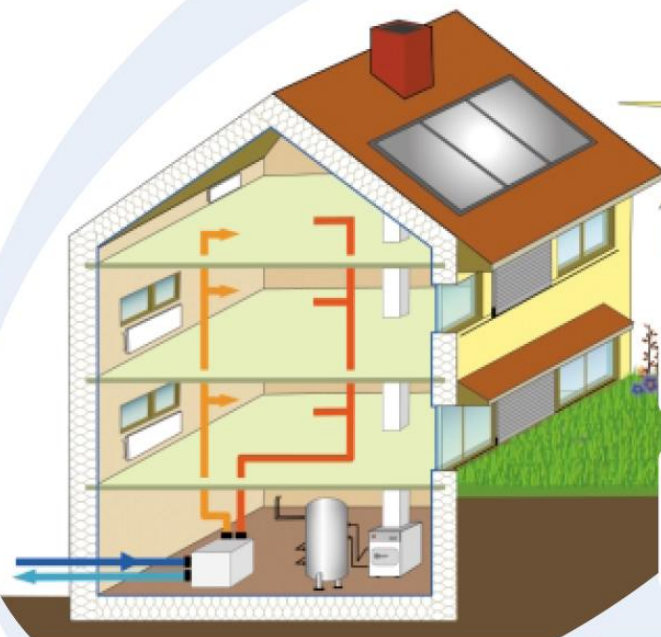
## 2°) Les performances thermiques dans une maison BBC-Effinergie

### Document 3a

Quelques solutions et performances courantes dans les projets **effinergie**

Conception architecturale		
	effinergie	RT 2005
Compacité	Recommandée	Non prise en compte
Orientation préférentielle sud	Recommandée	A envisager
Vigilance confort d'été	Indispensable	Souvent nécessaire

Isolation parois opaques		
Résistances thermiques surfaciques	effinergie	RT 2005
R Toit (en m <sup>2</sup> .K/W)	6,5 à 10	4 à 6
R Mur (en m <sup>2</sup> .K/W)	3,2 à 5,5	2,2 à 3,2
R Sol sur terre-plein (en m <sup>2</sup> .K/W)	2,4 à 4	1,7 à 2,9
R Sol sur vide sanitaire (en m <sup>2</sup> .K/W)	3,4 à 5	2,4 à 4
Ponts thermiques	Très faibles	Moyens à faibles



Energie solaire		
	effinergie	RT 2005
Production d'eau chaude solaire	Recommandée	A envisager
Production d'électricité photovoltaïque	A envisager	Rare

Baies vitrées		
	effinergie	RT 2005
Uw (en W/m <sup>2</sup> .K)	1,7 à 0,7	2 à 1,6
Protections solaires	Indispensables	Souvent nécessaire

Ventilation		
	effinergie	RT 2005
Ventilateurs basse consommation		
VMC hygro-réglable B ou VMC double flux avec un rendement échangeur > 80%		VMC hygro-réglable A ou B

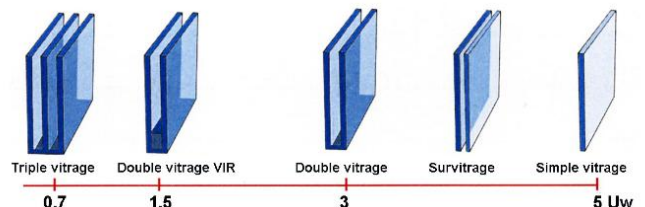
Chauffage et eau chaude sanitaire		
	effinergie	RT 2005
Electricité	PAC COP ≥ 3,5	Effet joule (radiants)
Gaz ou fuel	Chaudière à condensation	Chaudière basse température
Bois	Chaudière bois automatique classe 3	

Source : guide Effinergie « Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation »

### Document 3b

La performance des baies vitrées est qualifiée par le coefficient de déperdition thermique U<sub>w</sub> (vitrage + menuiserie) : plus il est faible, meilleure sera l'isolation thermique de la fenêtre.

Source : site Acqualys.fr, encyclopédie interactive sur l'habitat durable



## Document 3c

### ■ La qualité du vitrage

Le **double vitrage classique** (deux verres emprisonnant une lame d'air) est plus performant que le simple vitrage :

- il réduit l'effet de paroi froide ;
- il diminue les condensations et les déperditions thermiques à travers les fenêtres.

Le **double Vitrage à Isolation Renforcée (VIR)** constitue la nouvelle génération de doubles vitrages. Une fine couche transparente peu émissive (généralement à base d'argent) est déposée sur une des faces du verre (coté lame d'air). Cette couche agit comme un bouclier invisible pour empêcher en hiver la chaleur intérieure de fuir à l'extérieur. Le double Vitrage à Isolation Renforcée (VIR) a un pouvoir isolant deux à trois fois supérieur à celui d'un double vitrage ordinaire, et plus de quatre fois supérieur à celui d'un vitrage simple.

Source : guide Ademe « isolation thermique »

## Document 3d :

Les fenêtres associant des triples vitrages et menuiseries à très forte performance, apparaissent parfois comme une des solutions permettant de réduire très fortement les déperditions de chaleur, le coefficient  $U_w$  de la fenêtre étant généralement inférieur à 1.



En revanche, pour le moment ces fenêtres induisent des surcoûts et une réduction sensible de la capacité à capter l'énergie solaire et à transmettre la lumière.

On peut les préférer dans certaines orientations (parois peu ensoleillées, orientations nord) ou climats froids. Elles sont également utiles si l'on cherche à réduire drastiquement la puissance de chauffage de base afin de se passer d'un système traditionnel de chauffage avec réseau de distribution pour obtenir une maison passive.

De telles fenêtres n'ont pas d'utilité en climat méditerranéen.

Source : guide Effinergie « Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation »

## Question 6

a. Comparer les performances d'une maison BBC-Effinergie à celles exigées par la Règlementation Thermique 2005 concernant l'isolation des parois opaques et les baies vitrées.

b. Quel type de vitrage conseilleriez-vous à une personne souhaitant construire une maison BBC-Effinergie en Ile-de-France pour les fenêtres situées au sud ? Justifier votre choix.

## 3°) La VMC double flux

### Document 4a

La ventilation double flux est une VMC (ventilation mécanique contrôlée) qui permet, en plus de renouveler l'air du bâtiment, de récupérer la chaleur (en hiver) ou la fraîcheur (en été) contenue dans l'air évacué du logement et de la fournir à l'air entrant. Elle permet donc d'éviter le gâchis d'énergie pour le chauffage ou la climatisation.

Il existe plusieurs **types de ventilation double flux** et notamment avec des échangeurs de chaleur.

Un tel système est constitué de :

- un circuit de récupération d'air vicié de certaines pièces, constitué de gaines, d'un ventilateur et de filtres.
- un circuit d'insufflation d'air neuf dans d'autres pièces, également constitué de gaines, d'un ventilateur et de filtres.
- un échangeur permettant l'échange de chaleur entre les deux circuits d'air.

d'après site Ekopedia.org

## Question 7

a. Associer les 2 parties du tableau ci-dessous par des flèches :

Circuit d'air		Pièces concernées	
Circuit d'insufflation d'air neuf (air insufflé)	●	●	Pièces humides (WC, cuisine, SdB)
Circuit de récupération d'air vicié (air repris)	●	●	Pièces sèches (séjour, chambres)

b. Localiser l'échangeur de chaleur sur le document 4b.

c. Expliquer dans quel sens se fait le transfert de chaleur entre l'air entrant et l'air sortant suivant les saisons.

### Document 4b



Source : [www.entraid.elec.com](http://www.entraid.elec.com)

## Document 5

On effectue les relevés suivants pour une maison équipée d'une VMC double-flux :

**Débit d'air :  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$**

	<i>Air extérieur entrant</i>	<i>Air repris</i>	<i>Air insufflé</i>	<i>Air sortant</i>
<i>Température (°C)</i>	<i>2,0</i>	<i>19,0</i>	<i>15,0</i>	<i>5,0</i>

### Question 8

a. Calculer les quantités de chaleur  $Q_1$  et  $Q_2$  reçues ou perdues chaque seconde par l'air entrant et par l'air sortant.

Données : masse volumique de l'air  $\rho_{\text{air}} = 1,28 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$   $c_{\text{air}} = 1,00 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

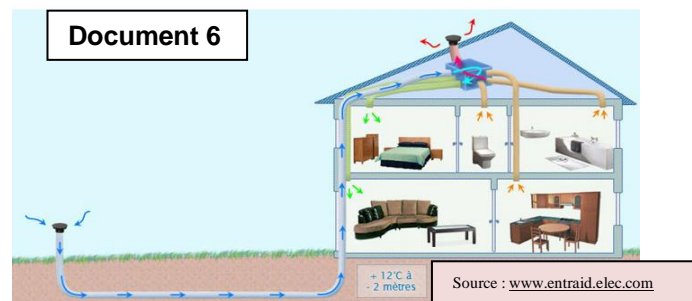
La relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé est valable également pour l'air.

b. Pourquoi peut-on dire que le fonctionnement de la VMC n'est pas optimal ?

c. Comment peut-on expliquer qu'on n'atteigne pas l'efficacité maximale pour l'installation ?

### Question 9

Une VMC double flux est parfois associée à un puits canadien, comme indiqué dans le document 6. Dans ce cas, l'air entrant passe dans un tube enterré à quelques mètres. Quel est l'intérêt d'un tel dispositif ?



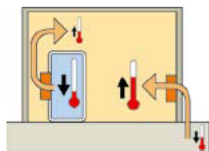
## 4°) La pompe à chaleur (PAC)

### Document 7a

#### un réfrigérateur à l'envers

Dans un réfrigérateur, de la chaleur est puisée à l'intérieur de celui-ci, ce qui en abaisse la température, puis est rejetée à l'extérieur, dans l'air de la cuisine.

Les pompes à chaleur fonctionnent selon le même principe, mais c'est l'environnement extérieur (sol, air ou eau) qui fournit la chaleur et l'intérieur du logement qui la récupère.



#### Le principe de base,...

La pompe à chaleur ou PAC est constituée d'un circuit fermé et étanche dans lequel circule un **fluide frigorigène** à l'état liquide ou gazeux selon les organes qu'il traverse. Ces organes sont au nombre de quatre : l'**évaporateur**, le **compresseur**, le **condenseur**, et le **détendeur**.

Pour simplifier, on peut dire que la pompe à chaleur prélève un peu de chaleur d'une « **source froide** » (sol du jardin, air environnant ou eau d'une nappe), augmente son niveau de température et restitue une chaleur à une température plus élevée dans le logement.

Son fonctionnement est d'autant plus efficace que la différence entre la température du milieu où est puisée la chaleur et celle des émetteurs de chaleur du logement est réduite.

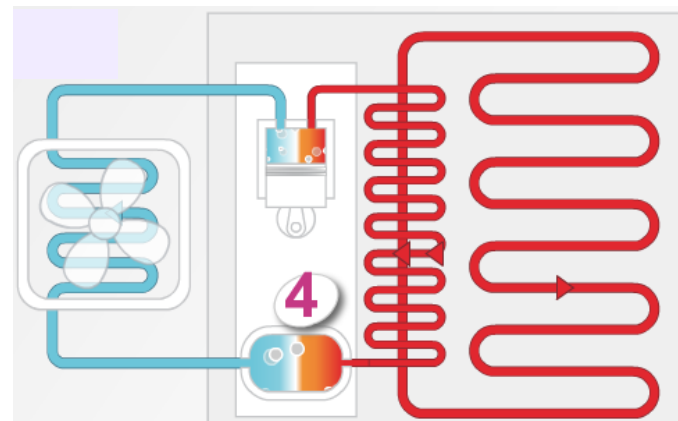
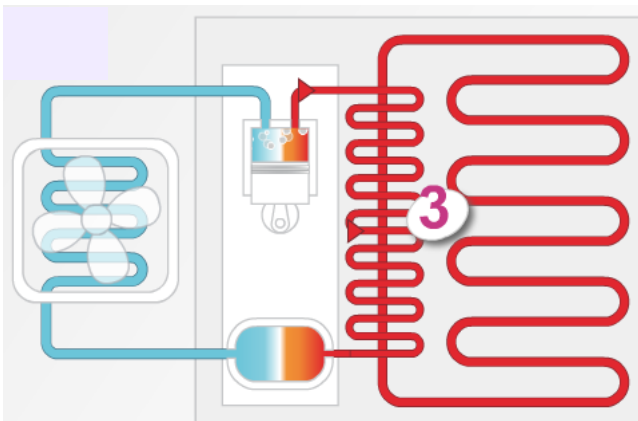
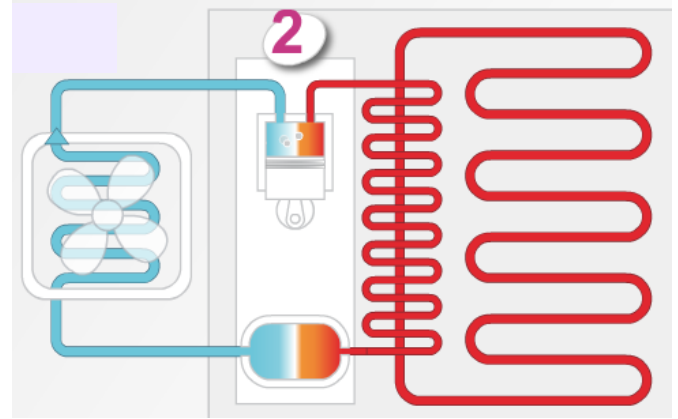
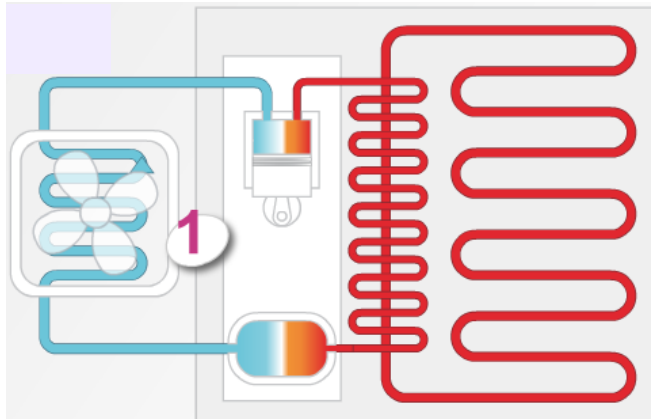
#### ... ses applications

À partir du principe de base de la pompe à chaleur, différents systèmes existent, avec des performances et des possibilités d'application différentes. On peut regrouper les PAC destinées au chauffage des particuliers en deux grandes familles :

- les **PAC géothermiques** qui puisent la chaleur dans le sol ou l'eau d'une nappe par l'intermédiaire d'un réseau de capteurs ou de forages ;
- les **PAC aérothermiques** qui la puisent directement dans l'air ambiant, extérieur ou intérieur au logement.

On parle selon les cas de modèles **air / air**, **air / eau**, **sol / sol**, **sol / eau**, **eau / eau** ou **eau glycolée / eau**. Le premier terme désigne l'origine du prélèvement, le second le mode de distribution de la chaleur. Seule exception : la PAC eau glycolée / eau qui puise la chaleur dans le sol (avec des capteurs enterrés contenant de l'eau glycolée).

Source : guide ADEME « Pompe à chaleur »



d'après site [www.dolcevita.gazdefrance.fr](http://www.dolcevita.gazdefrance.fr)

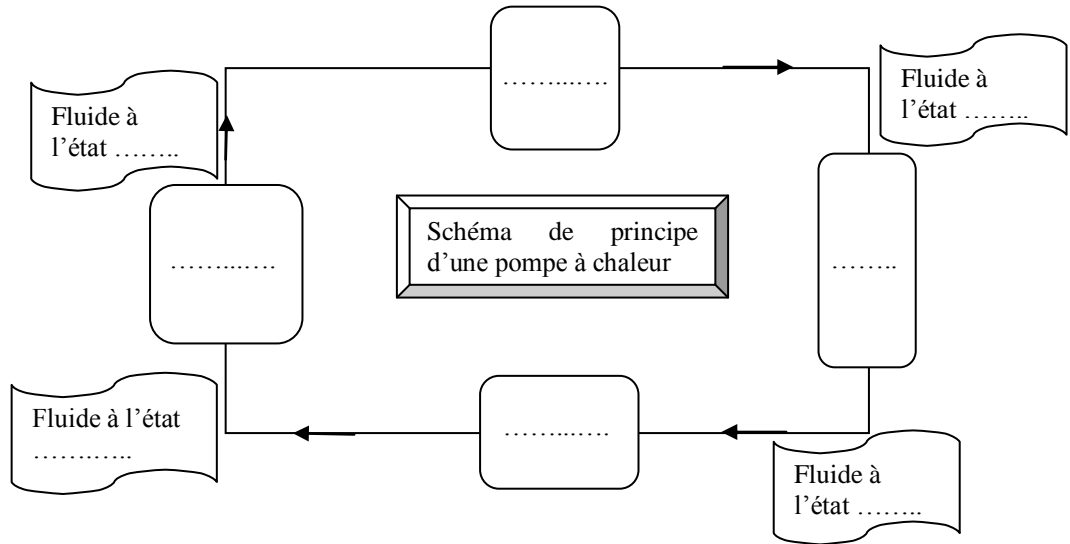
**Question 10**

a. Dans le tableau ci-dessous, attribuer à chacune des étapes successives 1, 2, 3 et 4 figurant sur le document 7b le titre et la description qui conviennent :

Titre		Etape			Description
La détente	●	●	1	●	Le fluide frigorigène, sous forme de vapeur haute pression, passe de l'état vapeur à l'état liquide dans le condenseur. En se condensant, il cède de la chaleur à l'eau du circuit de chauffage qui alimente le plancher chauffant, les radiateurs ou les ventilo-convecteurs.
L'évaporation	●	●	2	●	Le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état vapeur en prélevant une partie de l'énergie contenue dans l'air extérieur.
La compression	●	●	3	●	Le fluide frigorigène sous forme liquide passe à travers le détendeur qui abaisse sa pression jusqu'au niveau nécessaire à l'évaporation
La condensation et l'émission	●	●	4	●	Le fluide frigorigène à l'état vapeur est aspiré et comprimé par le compresseur à moteur électrique.

b. Légender le document 8 ci-dessous avec les termes suivants : évaporateur, condenseur, compresseur, détendeur et indiquer l'état physique du fluide frigorigène.

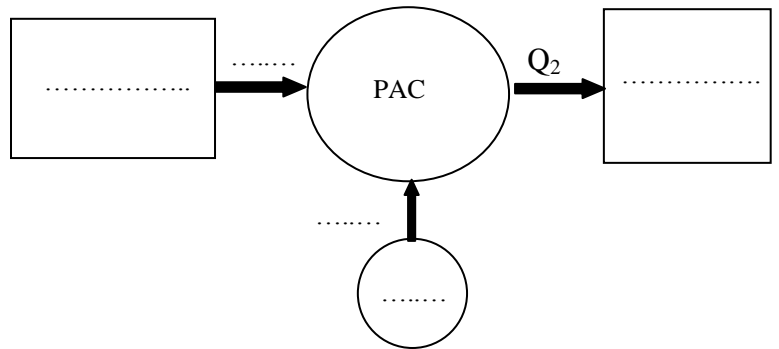
**Document 8**



**Document 9**

Une pompe à chaleur air-eau fonctionne comme une machine frigorifique, dont le principe peut être schématisé comme ci-dessous :

le fluide frigorigène prélève une quantité de chaleur  $Q_1$  à l'air extérieur (considéré comme une « source froide » à la température  $T_1$ ) et restitue une quantité de chaleur  $Q_2$  à l'eau du circuit de chauffage (considérée comme une « source chaude » à la température  $T_2$ ) ; un travail électrique  $W$  est fourni au compresseur par le moteur.



L'efficacité de la pompe à chaleur est définie à l'aide d'un coefficient appelé COP

(Coefficient of Performance) : 
$$COP = \frac{Q_2}{W}$$

Le bilan d'énergie au niveau de la PAC permet d'écrire :  $W + Q_1 = Q_2$

**Question 11**

- Légender le schéma du document 9.
- Expliquer en quoi le COP représente bien l'efficacité (ou rendement) énergétique de la PAC.
- Pourquoi la valeur du COP peut-elle être supérieure à 1 ?

**Question 12**

Une PAC air-eau installée dans une maison neuve a une puissance thermique (restituée au circuit de chauffage) de 15 kW.

- Sachant que le COP de la PAC vaut 3,0, calculer, en kWh :  
l'énergie prélevée à l'air extérieur en une heure

l'énergie électrique consommée en une heure

- Quelle est, en pourcentage, l'économie d'énergie électrique réalisée pour les usagers de la PAC par rapport au chauffage par radiateurs électriques ?

**Document 10**



L'efficacité d'une pompe à chaleur décroît avec l'écart de température entre sources et est limitée par la deuxième loi de la thermodynamique.

Pour le cycle de Carnot, présentant l'efficacité maximale : 
$$\text{COP}_{\max} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{1}{1 - \frac{T_1}{T_2}}$$

Les températures  $T$  sont exprimées en kelvins (K) :  $T[\text{K}] = \theta[^\circ\text{C}] + 273,15$

Le COP de toute pompe à chaleur augmente avec la température  $T_1$  de la source froide et diminue avec la température  $T_2$  de la source chaude : il peut atteindre 5 à 7 en été pour de l'eau de piscine mais une valeur inférieure à 3 en hiver (les valeurs normalisées données par les fabricants sont pour un air à 7 °C et de l'eau de chauffage à 35 °C).

Le COP n'a de signification qu'à températures de source froide et de source chaude données.

De ce fait, la pompe à chaleur air/eau par exemple présentera par exemple un COP de 3,5 par +7 °C et de 2 à 0 °C extérieur.

D'après site [www.wikipédia.fr](http://www.wikipédia.fr)

### Question 13

a. Justifier les 2 phrases soulignées du document 10.

b. Calculer le COP théorique maximal :

pour un air extérieur à 7,0°C et de l'eau du circuit de chauffage à 35,0°C

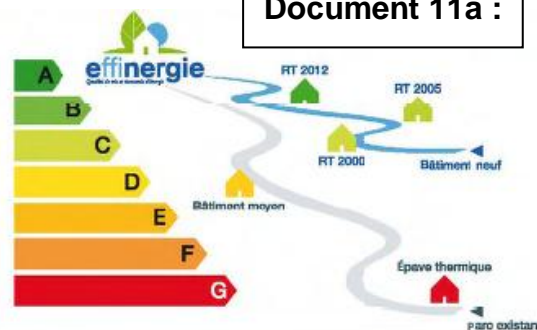
pour un air extérieur à -10,0°C et de l'eau du circuit de chauffage à 35,0°C

Conclure.

## 5°) De la maison BBC à la RT 2012

La RT 2012 (applicable aux bâtiments neufs publics et tertiaires depuis le 28 octobre 2011 et aux bâtiments neufs à usage d'habitation à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2013) reprend en fait le niveau de performance énergétique défini par le label BBC-Effinergie.

### Document 11a :



### Document 11b

*La RT 2012 s'articule autour de deux innovations fondamentales : la définition d'une exigence globale en consommation d'énergie primaire en valeur absolue et une meilleure prise en compte de l'impact énergétique du bâti dès sa conception associée au coefficient Bbio créé spécifiquement."*

#### **Objectif global dès la conception**

C'est la différence essentielle par rapport à la RT 2005. Jusqu'à présent, les différentes RT se calaient tous les 5 ans autour de 10, 15 à 20 % de réduction des consommations en exprimant la valeur à respecter par rapport à un bâtiment de référence. L'objectif en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup> (kWh d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de SHON) dépendait ainsi de nombreux paramètres propres au projet (forme du bâtiment, détail des installations...). De ce fait, la consommation en énergie primaire à respecter pouvait varier fortement d'un bâtiment à l'autre.

*"Avec la RT 2012, l'exigence s'exprimera différemment, poursuit Jean-Robert Millet. Le coefficient de référence calculé à partir des détails du bâtiment sera remplacé par une valeur absolue, indépendante de la forme du bâtiment. Le gain par rapport à 2005 sera d'au moins 50% (et pourra varier fortement d'un bâtiment à l'autre)".* Cet objectif ambitieux demandera à l'équipe de conception une réflexion à la fois plus globale et plus pointue, tant sur la conception du bâti que sur le choix des systèmes. *"Par exemple, ajoute le spécialiste, en RT 2005, si vous décidiez de faire un bâtiment très découpé et peu compact, le coefficient de référence suivait. En RT 2012, ce coefficient ne sera plus fonction de la forme du bâtiment. Si la forme est pénalisante du point de vue de l'énergie, il faudra compenser et faire mieux par ailleurs."*

L'effort demandé le sera donc dès la conception du bâti, à tous les niveaux : forme du bâtiment, isolation des parois, orientation et nature des baies, protection solaire, étanchéité, inertie thermique... sachant que le concepteur connaîtra l'objectif global de son projet avant même d'avoir tracé le premier coup de crayon du bâtiment. C'est un des points forts de la RT 2012. Bien entendu, l'objectif global en consommation d'énergie sera modulé selon un certain nombre de points qui ont un impact sur les consommations d'énergie indépendamment de la performance du bâtiment et de ses équipements, notamment la zone climatique, le type d'utilisation des locaux (hôpital, bureau, école, logement...), le type d'énergie utilisée... C'est ici également que le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) intervient pour créer les méthodes et cœurs de calcul des logiciels destinés à aider les concepteurs à atteindre les nouveaux objectifs de la future réglementation et à permettre d'en vérifier le respect des exigences.

#### **Un nouveau coefficient : Bbio**

Comme il va falloir porter plus d'attention qu'auparavant à la conception du bâti, un nouveau coefficient - appelé Bbio - sera introduit dans la RT 2012. Objectif : qualifier la qualité énergétique du bâti avant de savoir quels seront les systèmes qui l'équiperont (chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, photovoltaïque...).

*"Ce coefficient Bbio sera une exigence réglementaire destinée à orienter le concepteur dès le départ vers un bâti performant, les exigences de consommation d'énergie et de confort d'été étant par ailleurs conservées, précise Jean-Robert Millet. Le Bbio est une première étape. Elle correspond du reste au souhait des concepteurs de disposer d'une approche bioclimatique avant d'avoir à choisir l'ensemble des systèmes pour leur projet. C'est un premier cadrage qui leur permettra de savoir si leur bâtiment tient la route ou pas."*

Source : [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

## Document 11c



La réglementation Thermique 2012 repose sur trois coefficients :

- le Besoin Bioclimatique (BBio),
- la Consommation (C)
- et la Température intérieure de consigne (Tic)

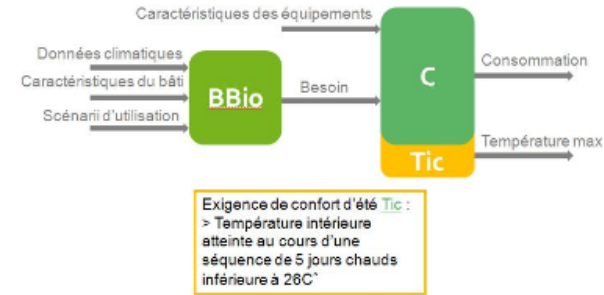
De manière simplifiée, le coefficient BBio correspond aux déperditions (pertes naturelles et besoin des usagers) moins l'apport gratuit (chaleur humaine, du soleil, etc.), le coefficient C correspond au besoin sur le rendement des équipements et Tic à la température maximale atteinte au cours d'une période de forte chaleur.

Les coefficients BBio, C et Tic seront calculés grâce aux outils de calculs informatiques qui seront fournis par le CSTB et qui sont en cours d'élaboration.

Afin d'être conforme à la future RT 2012, un bâtiment neuf devra respecter 3 exigences globales :

**Exigence d'efficacité énergétique du bâti  $B_{bio_{max}}$  :**  
-> Limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées au bâti (chauffage, refroidissement et éclairage)

**Exigence de consommation  $C_{ep_{max}}$  :**  
-> Consommation maximale à 50 kWhEP/m<sup>2</sup>.an en moyenne pour 5 usages pris en compte : chauffage, ECS, refroidissement, éclairage, auxiliaires



→ 1 Exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti  $B_{bio_{max}}$  : Exigence de limitation du besoin en énergie pour les composantes liées au bâti (chauffage, refroidissement et éclairage)

→ 2 Exigence de consommation maximale  $C_{ep_{max}}$  : Exigence maximale de consommation d'énergie primaire à 50 kWhEP/m<sup>2</sup>.an en moyenne ; 5 usages pris en compte : chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes) ;

→ 3 Exigence de confort d'été Tic : Exigence sur la température intérieure atteinte au cours d'une séquence de 5 jours chauds inférieure à une température de référence (Tic) ;

→ Quelques exigences de moyen :

- Recours aux énergies renouvelables en maison individuelle ;
- Traitement des ponts thermiques ;
- Traitement de l'étanchéité à l'air (test de la porte soufflante) ;
- Surface minimale de baies vitrées (1/6 de la surface des murs) ;
- Mesure ou estimation des consommations d'énergie par usage ;
- Prise en compte de la production locale d'électricité en habitation ( $C_{ep_{max}} + 12 \text{ kWhEP/m}^2\text{/an}$ ).

## Document 11d

### LE BESOIN BIOCLIMATIQUE

Le Bbio, exprimé en points, détermine le bon niveau de conception bioclimatique de ma maison et les besoins de chauffage, climatisation et éclairage.

Pour avoir un excellent Bbio, conforme à la RT 2012, j'ai conçu dès le départ ma maison pour qu'elle mette à profit les conditions climatiques favorables tout en se protégeant des conditions défavorables de ma région.



Source : <http://www.plan-batiment.legrenelle-environnement.fr/>

## Question 14

A l'aide des documents 11a à 11d :

a. Préciser quels sont les objectifs de la RT 2012 et les différences fondamentales par rapport à RT 2005.

b. Expliquer en quoi consiste la conception bioclimatique.

## FICHE 3

## Correction. Fiche à destination des enseignants

### Question 1

a. La consommation d'énergie primaire par  $m^2$  de SHON et par an doit être inférieure à une valeur  $Cep_{max}$  égale au produit de la valeur 50 par un coefficient de rigueur climatique.

Pour les bâtiments situés à Nancy :  $Cep_{max} = 50 \times 1,3 = 65 \text{ kWhep/m}^2 / \text{an}$

Pour ces bâtiments, on voit sur le document 1d :  $Cep = 60 \text{ kWh/m}^2 / \text{an} < Cep_{max} \Rightarrow$  conformes aux exigences du label BBC.

Pour les bâtiments situés à Nice :  $Cep_{max} = 50 \times 0,8 = 40 \text{ kWhep/m}^2 / \text{an}$

Pour ces bâtiments, on voit sur le document 1d :  $Cep < 30 \text{ kWh/m}^2 / \text{an} < Cep_{max} \Rightarrow$  conformes aux exigences du label BBC.

b. A Nancy (zone froide), le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont les usages principaux.

A Nice (zone méditerranéenne), le chauffage est marginal et l'eau chaude sanitaire est le poste principal.

### Question 2

a. La valeur  $Cep'$  de la consommation d'énergie primaire /  $m^2$  de SHON / an du poêle à bois prise en compte pour le label BBC est :  $Cep' = 15,88 \times 0,6 = 9,53 \text{ kWhep/m}^2 / \text{an}$

b. La consommation réelle d'énergie électrique liée au chauffage (facturée par le fournisseur d'électricité), par  $m^2$  de SHON et par an est  $E_{el}$  telle que :

$$E_{el} = \frac{4,02}{2,58} = 1,56 \text{ kWhep} / \text{m}^2 / \text{an}$$

### Question 3

La consommation d'énergie primaire /  $m^2$  de SHON / an du bâtiment, calculée pour l'obtention du label BBC est :  $Cep_{BBC} = 9,53 + 4,02 + 50,5 + 7,2 + 7,3 = 78,55 \text{ kWhep/m}^2 / \text{an}$

En Ile-de-France, la valeur à ne pas dépasser pour le label BBC est :  $Cep_{max} = 50 \times 1,3 = 65 \text{ kWhep/m}^2 / \text{an}$

Le bâtiment ne peut donc pas obtenir le label BBC – Effinergie.

### Question 4

a. C'est la production d'eau chaude sanitaire (cuisine, bains, douches, ...)

b. On pourrait proposer :

L'installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI) : un fluide caloporteur circule dans des panneaux solaires placés en toiture et chauffe l'eau du ballon de stockage ; celui-ci comporte une résistance électrique qui fait l'appoint en cas d'ensoleillement insuffisant.

L'installation d'une pompe à chaleur (PAC) qui assurerait, en plus du chauffage, la production d'eau chaude.

### Question 5

a. La consommation totale d'énergie primaire par  $m^2$  de SHON et par an est notée  $Cep_{totale}$  : c'est la somme de la consommation C du poste modifié et de la consommation  $Cep_{autres postes}$  inchangée des autres postes.

$$Cep_{totale} = C + Cep_{autres postes}$$

Dans le projet initial, on calcule  $Cep_{autres postes} = 78,55 - 50,5 = 28,05 \text{ kWh/m}^2 / \text{an}$

Dans le projet final, on calcule C :  $C = Cep_{totale} - Cep_{autres postes} = 45,91 - 28,05 = 17,86 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{an}$

b. La consommation initiale d'énergie primaire par  $m^2$  de SHON et par an liée à la production d'eau chaude sanitaire est  $C_i = 50,5 \text{ kWhep} / \text{m}^2 / \text{an}$  ; la consommation finale est  $C_f = 17,86 \text{ kWhep} / \text{m}^2 / \text{an}$ .

Le pourcentage d'économies réalisé est donc x tel que :  $x = 100 \times \frac{C_i - C_f}{C_i} = 100 \times \frac{50,5 - 17,86}{50,5} = 65 \%$

c. Le montant initial annuel de la facture d'électricité correspondant à ce poste est :

$$F_i = E_{eli} \times SHON \times 0,12$$

avec  $E_{eli}$  l'énergie électrique réellement consommée pour ce poste :  $E_{eli} = \frac{50,5}{2,58} = 19,57 \text{ kWhep/m}^2 / \text{an}$

d'où :  $F_i = 19,57 \times 175 \times 0,12 = 411 \text{ €}$

De même, le montant final annuel de la facture d'électricité correspondant à ce poste est :

$$F_f = E_{\text{el f}} \times \text{SHON} \times 0,12$$

avec  $E_{\text{el f}}$  l'énergie électrique réellement consommée pour ce poste :  $E_{\text{el f}} = \frac{17,86}{2,58} = 6,92 \text{ kWhep/m}^2 / \text{an}$

d'où :  $F_f = 6,92 \times 175 \times 0,12 = 145 \text{ €}$

L'économie réalisée annuellement sur la facture d'électricité est donc  $F_i - F_f = 411 - 145 = 266 \text{ €}$

### Question 6

a. Les performances d'une maison BBC-Effinergie sont supérieures à celles exigées par la RT 2005 pour ce qui est de l'isolation des parois opaques et des baies vitrées :

les résistances thermiques surfaciques des différentes parois opaques (toit, murs, sols, ...) ont des valeurs minimales supérieures à celles exigées par la RRT 2005 : les parois sont donc mieux isolées dans la norme BBC-Effinergie

les ponts thermiques sont très faibles dans les projets BBC-Effinergie alors que la RT 2005 nécessite seulement des ponts thermiques moyens à faibles.

les baies vitrées ont un coefficient de déperdition thermique  $U_w$  valant au plus  $1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  dans les projets BBC alors que la valeur maximale autorisée par la RT 2005 est  $2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  : elles sont donc mieux isolées.

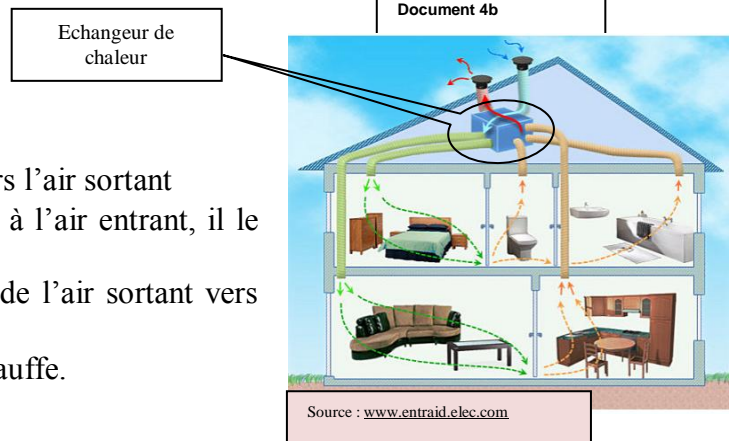
b. On lui conseille des doubles vitrages VIR qui permettent d'avoir  $U_w < 1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , contrairement aux doubles vitrages classiques. Le recours aux triples vitrages n'est ici pas justifié, pour des fenêtres exposées au sud en Ile-de-France : ils induiront un surcoût, capteront et transmettront moins bien le rayonnement solaire.

### Question 7

a. Circuit d'insufflation d'air neuf ↔ Pièces sèches ;  
Circuit de récupération d'air vicié ↔ Pièces humides

b.  
c. L'été, le transfert de chaleur se fait de l'air entrant vers l'air sortant ( $\theta_{\text{air entrant}} > \theta_{\text{air sortant}}$ ). L'air sortant prend de l'énergie à l'air entrant, il le refroidit.

L'hiver, c'est l'inverse : le transfert de chaleur se fait de l'air sortant vers l'air entrant ( $\theta_{\text{air sortant}} > \theta_{\text{air entrant}}$ ). L'air sortant donne de l'énergie à l'air entrant, il le réchauffe.



### Question 8

a. Au niveau de l'échangeur :

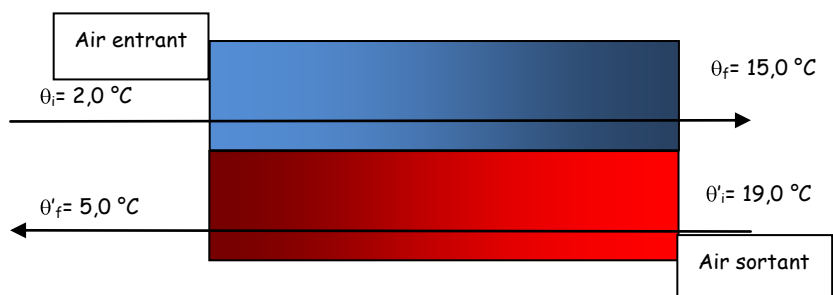
Pour l'air entrant :

$$\theta_i \text{ (air extérieur entrant)} = 2,0 \text{ C}$$

$$\text{et } \theta_f \text{ (air insufflé)} = 15,0 \text{ C}$$

Pour l'air sortant :  $\theta'_i$  (air repris) = 19,0 C

$$\text{et } \theta'_f \text{ (air sortant)} = 5,0 \text{ C}$$



On calcule la quantité de chaleur  $Q_1$  reçue chaque seconde par l'air entrant à l'aide de la relation :

$$Q_1 = m_{\text{air}} \times c_{\text{air}} \times (\theta_f - \theta_i) = \rho_{\text{air}} \times V_{\text{air}} \times c_{\text{air}} \times (\theta_f - \theta_i)$$

En 1 seconde, le volume  $V_{\text{air}}$  d'air soufflé ou repris est :  $V_{\text{air}} = \frac{120}{3600} = \frac{1}{30} \text{ m}^3$

$$\text{D'où : } Q_1 = 1,28 \times \frac{1}{30} \times 1,00 \cdot 10^3 \times 13,0 = 555 \text{ J}$$

De même, on calcule la quantité de chaleur  $Q_2$  perdue chaque seconde par l'air sortant à l'aide de la relation :

$$Q_2 = m_{\text{air}} \times c_{\text{air}} \times (\theta'_i - \theta'_f) = \rho_{\text{air}} \times V_{\text{air}} \times c_{\text{air}} \times (\theta'_i - \theta'_f) = 1,28 \times \frac{1}{30} \times 1,00 \cdot 10^3 \times 14,0 = 597 \text{ J}$$

b. Le fonctionnement de la VMC n'est pas optimal car l'énergie cédée par l'air sortant n'a pas été totalement récupérée par l'air entrant :  $Q_1 < Q_2$ .

c. On n'atteint pas l'efficacité maximale pour l'installation car :

l'échangeur n'a pas un rendement théorique de 100 %

il y a des pertes au niveau des gaines qui ne sont pas isolées parfaitement : l'air chaud perd une petite partie de son énergie en circulant dans les gaines au niveau des combles qui ne sont pas chauffés.

### Question 9

L'air prélevé (air extérieur entrant) reste ainsi à température quasi-constante (environ 12°C) : il ne sera pas trop froid en hiver et pas trop chaud en été.

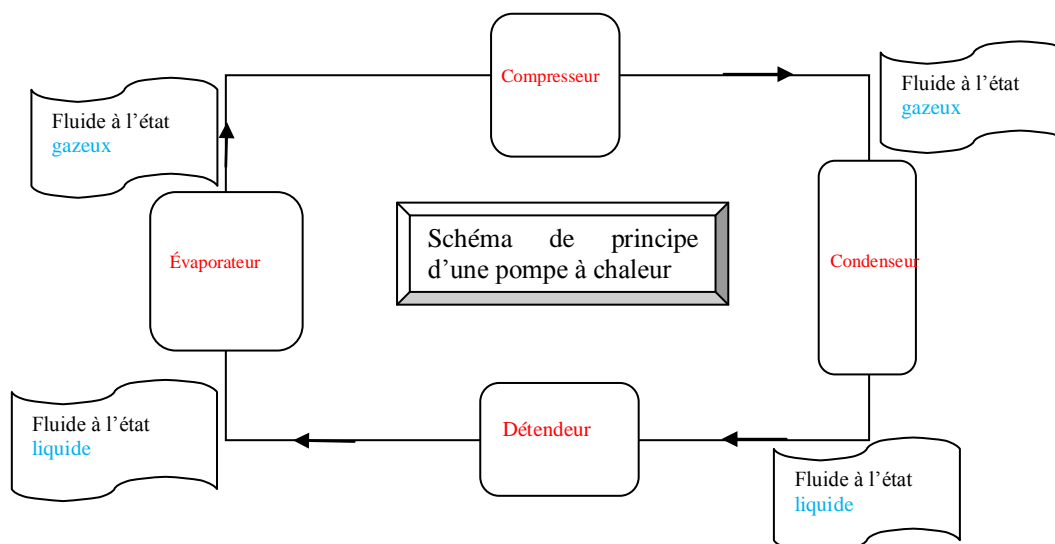
En hiver, cela revient à réaliser un préchauffage de l'air extérieur qui alimentera la VMC et sera soufflé : des économies de chauffage seront ainsi réalisées.

En été, cela revient à réaliser un prérefroidissement de l'air extérieur qui alimentera la VMC : une température plus basse pourra être obtenue dans la maison.

Titre		Etape			Description
La détente			1		Le fluide frigorigène, sous forme de vapeur haute pression, passe de l'état vapeur à l'état liquide dans le condenseur. En se condensant, il cède de la chaleur à l'eau du circuit de chauffage qui alimente le plancher chauffant, les radiateurs ou les ventilo-convecteurs.
L'évaporation			2		Le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état vapeur en prélevant une partie de l'énergie contenue dans l'air extérieur.
La compression			3		Le fluide frigorigène sous forme liquide passe à travers le détendeur qui abaisse sa pression jusqu'au niveau nécessaire à l'évaporation
La condensation et l'émission			4		Le fluide frigorigène à l'état vapeur est aspiré et comprimé par le compresseur à moteur électrique.

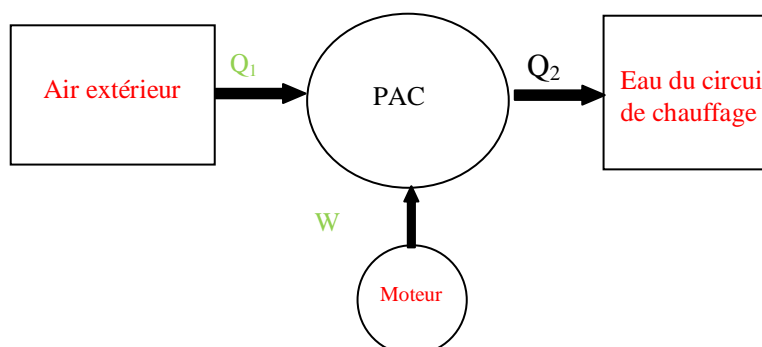
**Question 10**  
a.

b.



### Question 11

a.



b. Le rendement ou efficacité énergétique de la PAC correspond au rapport de l'énergie utile fournie par la PAC sur l'énergie qu'il a fallu dépenser pour son fonctionnement :

$$\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}} = \frac{Q_2}{W}$$

c. C'est grâce à l'air extérieur, source froide qui cède « gratuitement » une énergie  $Q_1$  :

$$\eta = \frac{Q_2}{W} = \frac{W + Q_1}{W} = 1 + \frac{Q_1}{W} > 1$$

### Question 12

a. L'énergie thermique restituée par la pompe en une heure est  $Q_2 = 15$  kWh

On calcule l'énergie  $Q_1$  prélevée à l'air extérieur en une heure :  $Q_1 = Q_2 - W$

Comme  $\text{COP} = \frac{Q_2}{W}$ , on obtient :  $W = \frac{Q_2}{\text{COP}}$  et donc

$$Q_1 = Q_2 - \frac{Q_2}{\text{COP}} = \left(1 - \frac{1}{\text{COP}}\right) \times Q_2 = \left(1 - \frac{1}{3,0}\right) \times Q_2 = \frac{2}{3} \times 15 = 10 \text{ kWh}$$

L'énergie électrique  $W$  consommée en une heure :

$$W = \frac{Q_2}{\text{COP}} = \frac{15}{3,0} = 5,0 \text{ kWh} \quad \text{ou} \quad W = Q_2 - Q_1 = 5,0 \text{ kWh}$$

b. Sans la pompe à chaleur, l'énergie électrique consommée en une heure aurait été  $W'_{\text{el}} = Q_2 = 15$  kWh

Avec elle, l'énergie électrique consommée en une heure par le moteur est  $W_{\text{el}} = W = 5,0 \text{ kWh} = W'_{\text{el}}/3$

On a ainsi économisé les 2/3 de l'énergie initiale, soit un pourcentage de 67%.

### Question 13

a. D'après l'expression  $\text{COP}_{\text{max}} = \frac{1}{1 - \frac{T_1}{T_2}}$  :

plus  $T_1$  augmente, plus le dénominateur est petit et plus  $\text{COP}_{\text{max}}$  est grand

plus  $T_2$  augmente, plus le dénominateur est grand et plus  $\text{COP}_{\text{max}}$  est petit

Il n'y a pas de  $\text{COP}_{\text{max}}$  dans l'absolu : il dépend des 2 valeurs  $T_1$  et  $T_2$ .

Remarque : l'efficacité est moins bonne quand la température  $T_1$  de l'air extérieur est basse, c'est-à-dire quand la PAC doit fonctionner pour chauffer la maison !

**b. Pour un air extérieur à 7,0°C et de l'eau du circuit de chauffage à 35,0°C :**

On calcule  $T_1 = \theta_1 + 273,15 = 280,15$  K et  $T_2 = \theta_2 + 273,15 = 308,15$  K

$$\text{COP}_{\text{max}} = \frac{1}{1 - \frac{280,15}{308,15}} = 11,0$$

**Pour un air extérieur à -10,0°C et de l'eau du circuit de chauffage à 35,0°C :**

On calcule  $T_1 = \theta_1 + 273,15 = 263,15$  K et  $T_2 = \theta_2 + 273,15 = 308,15$  K

$$\text{COP}_{\text{max}} = \frac{1}{1 - \frac{263,15}{308,15}} = 6,8$$

On retrouve les résultats du a. : l'efficacité de la PAC diminue quand la source froide est trop froide.

En période de froid hivernal, les performances de la PAC sont en dessous de celles annoncées par les fabricants, calculées pour  $\theta_{1 \text{ moyen}} = 7^\circ\text{C}$ .

### Question 14

a. Les objectifs sont de concevoir des bâtiments qui consommeront peu d'énergie et qui auront ont bien conçus en termes de « forme du bâtiment, isolation des parois, orientation et nature des baies, protection solaire, étanchéité, inertie thermique... », indépendamment des équipements performants qui seront ensuite installés pour le chauffage, le refroidissement, l'eau chaude sanitaire.

La RT 2012 comportera :

une valeur maximale de consommation  $Cep_{max}$  de 50 kWh/m<sup>2</sup> (kWh d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de SHON) à ne pas dépasser, indépendamment de la forme et des équipements du bâtiment

un nouveau coefficient appelé Bbio qui renseignera sur la qualité énergétique du bâtiment ; il ne devra pas dépasser une valeur  $Bbio_{max}$  calculé en fonction des données climatiques, des caractéristiques du bâti et des scénarii d'utilisation

une température intérieure de consigne  $T_{ic}$ , température maximale atteinte au cours d'une période de 5 jours consécutifs de forte chaleur : elle devra être inférieure à 28°C.

La différence fondamentale avec la RT 2005 est que l'exigence de consommation à ne pas dépasser sera indépendante de la forme du bâti et demandera une conception beaucoup plus réfléchie et optimisée en termes d'impact énergétique ; l'introduction du coefficient Bbio ira également dans ce sens.

b. La conception bioclimatique est la prise en compte des atouts et des contraintes liées aux conditions climatiques et géographiques du lieu où sera implanté un bâtiment : celui-ci devra être agréable à vivre pour ses occupants, avoir une faible consommation énergétique et respecter au maximum l'environnement.

Le choix d'un bâtiment compact, avec des zones de vie et des ouvertures réduites au nord, l'installation de baies vitrées exposées au sud avec protections solaires en été, l'isolation de la toiture, la plantation devant les terrasses d'arbres caduques faisant de l'ombre en été et ne retirant pas de lumière en hiver sont autant d'exemples pouvant illustrer une conception bioclimatique.