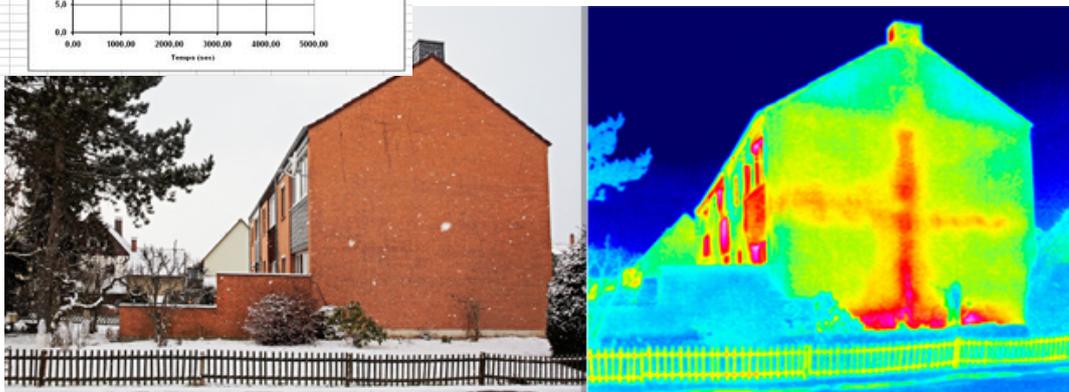
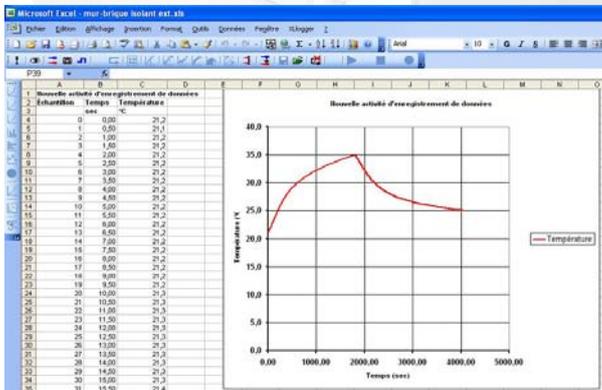


# Isolation thermique

## Banc d'essai

Dossier lycée





## SOMMAIRE

<b>Présentation générale</b>	<b>02 à 03</b>
<b>Présentation pédagogique</b>	<b>04 à 05</b>
<b>Activité découverte – Amélioration de l'efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat</b>	<b>06 à 13</b>
Document professeur	06
Document élève	08
Correction	10
Document ressource « L'énergie thermique - Fondamentaux Niveau 1 »	12
<b>Activité 1 – Déperdition d'énergie dans une habitation</b>	<b>14 à 24</b>
Document professeur	14
Document élève / Correction	16
Document ressource N°1 « Les déperditions d'énergie dans une habitation »	23
Document ressource N° 1 bis « Exemple de projet réalisé sous Archimist »	25
<b>Activité 2 – Isolation thermique des matériaux de construction</b>	<b>26 à 41</b>
Document professeur	26
Document élève	28
Correction	34
Document ressource N°2 « L'énergie thermique – Fondamentaux Niveau 2 »	40
<b>Activité 3 – Isolation thermique des murs par l'intérieur ou l'extérieur</b>	<b>42 à 57</b>
Document professeur	42
Document élève	44
Correction	50
Document ressource N°3 « La gamme d'isolation Métisse® »	54
Document ressource N°3 bis « Applications de l'imagerie thermique dans le bâtiment »	56
<b>Activité 4 – Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat</b>	<b>58 à 72</b>
Document professeur	58
Document élève	60
Correction	66
Document ressource N°4 « La ventilation dans l'habitat »	71
<b>Annexe – La simulation R Home – Pertes thermiques</b>	<b>73</b>

### CONTENU DU CD-ROM

Le CD-Rom de ce projet est disponible au catalogue de la Société A4 (Réf. : CD-BE-THERM).

#### Il contient :

Le dossier pédagogique en version .PDF et .DOC

Des photos du produit.

**La modélisation 3D complète** avec des fichiers 3D aux formats SolidWorks, Parasolid et eDrawings.

#### Les dossiers et le Cédérom sont copiables pour les élèves, en usage interne dans les établissements scolaires\*

\*La duplication est autorisée sans limite de quantité au sein des établissements scolaires, à seules fins pédagogiques, à la condition que soit cité le nom de l'éditeur : Société A4.

La copie ou la diffusion par quelque moyen que ce soit en dehors d'un usage interne à l'établissement de tout ou partie du dossier ou du CD-Rom ne sont pas autorisées sans l'accord de la Société A4 Technologie.

## 1. Les points forts du banc d'essai isolation thermique

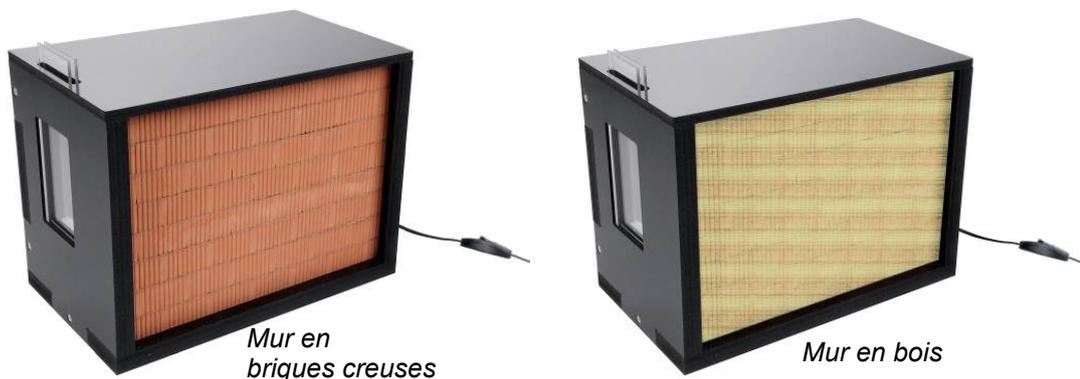
Ce banc d'essai représente une pièce dont un mur et l'isolation sont amovibles. À l'intérieur, une source de chaleur et un thermomètre permettent d'observer et de mesurer la montée et descente en température.

**Sa simplicité, sa robustesse et sa mise en œuvre rapide, ses qualités pédagogiques** en font un support particulièrement adapté à l'enseignement technologique. Il est possible ainsi de tester et comparer différents matériaux de construction et d'isolation ainsi que le double vitrage.



*Banc d'essai livré avec un thermomètre à sonde*

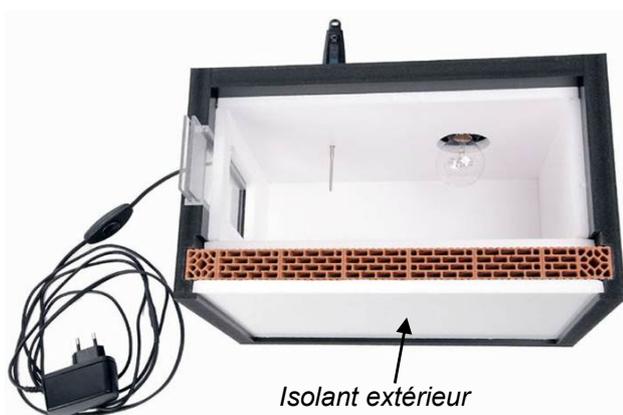
Le banc d'essai est très bien isolé thermiquement pour que les mesures de températures soient liées à la mise en place du **mur amovible**. Ce mur est disponible dans **trois matériaux** : brique, bois et en option en ciment.



*Mur en  
briques creuses*

*Mur en bois*

Le chauffage intérieur est assuré par une ampoule de 15 watts : un système sûr et pratique pour visualiser l'action de chauffage et mesurer l'inertie thermique. **Le système à glissières** permet de remplacer le mur très facilement et de placer des isolants à l'intérieur comme à l'extérieur.

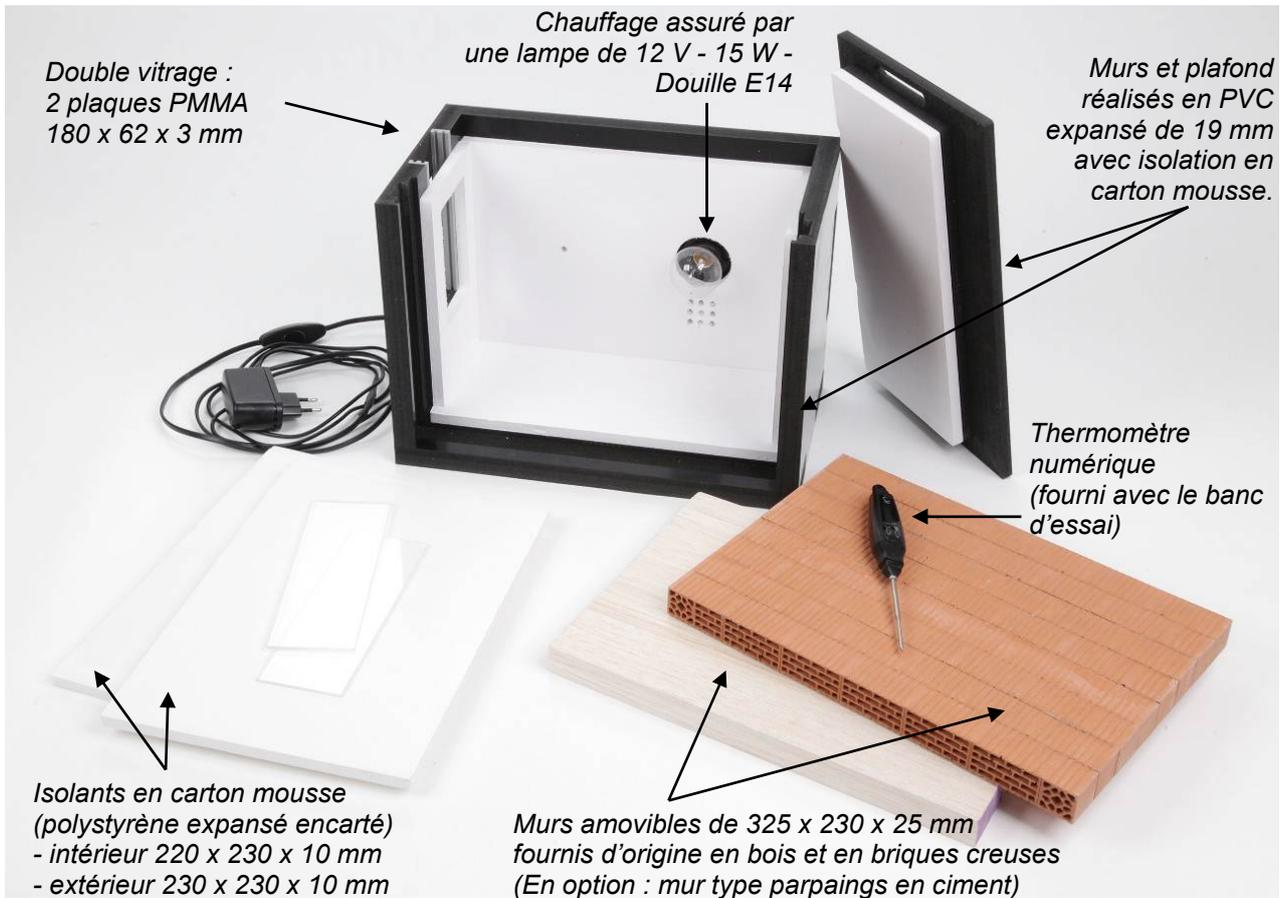


*Isolant extérieur*



Une fenêtre double vitrage, placée sur un mur de côté, permet des investigations supplémentaires.

2. Composition du support pédagogique

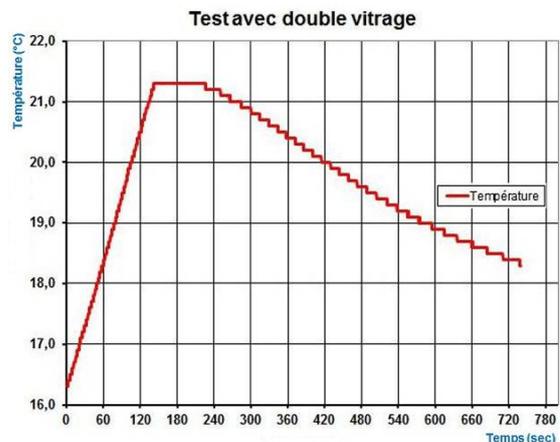


3. Le système numérique de mesure XLogger (Pack découverte ou en option)

« XLogger » est un système constitué d'une application (fournie sous la forme d'une clé USB) fonctionnant sous le tableur « Excel » et d'une gamme étendue de sondes que l'on connecte directement en USB à l'ordinateur. Les grandeurs physiques acquises par les sondes sont restituées et stockées en temps réel dans une feuille de calcul sous forme de tableau et graphique. De multiples mesures sont possibles avec un choix étendu d'une vingtaine de sondes (voir catalogue). Le banc d'essai thermique est prévu pour accueillir la sonde XLogger de température.



Sonde XLogger (Réf. : XLS1001)



Application XLogger disponible sur clé USB. Récupération des données sur une feuille de calcul et affichage sous forme de graphique (Tableur Excel). (Réf. : XLC2003 ou XLC 2011).

## 1. L'intérêt pédagogique

L'utilisation du banc d'essai isolation thermique permet de mettre en place en classe de **1<sup>ère</sup> ou terminale STI2D** des activités autour des **thèmes** du « **confort** » et de « **l'énergie** ». Ce banc d'essai est utilisable pour **l'enseignement technologique commun** et dans les **enseignements technologiques spécifiques** pour les spécialités « **Architecture et construction (AC)** » et « **Énergies et environnement (EE)** ».

Dans ce **dossier** sont développées **cinq activités** autour des problématiques suivantes :

- Activité découverte - Comment améliorer l'efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat ?**
- Activité 1 - Comment évaluer les pertes énergétiques d'une habitation ?**
- Activité 2 - Comment réduire les déperditions énergétiques des murs d'une habitation ?**
- Activité 3 - Comment limiter les déperditions énergétiques à l'intérieur ou à l'extérieur d'une habitation ?**
- Activité 4 - Comment augmenter l'isolation thermique au niveau des vitrages d'une habitation ?**  
- Comment aérer une habitation sans perdre trop d'énergie thermique ?

**Des pistes supplémentaires d'investigation** sont aussi envisageables comme par exemple réaliser et tester des murs dans d'autres matériaux tels que le **ciment, le torchis, le carton**, etc.

L'idéal est de disposer de plusieurs bancs d'essai.

À défaut, un groupe travaille avec le banc d'essai, les autres sur des activités en relation avec les isolants.

**Les activités 2,3 et 4** s'appuient pleinement **le banc d'essai** et présentent des points communs :

- mise en place et conduite d'expérience ;
- relevés de mesures ;
- tableaux et courbes avec un tableur ;
- interprétation des résultats ;
- structuration des connaissances.

La difficulté des tests thermiques réside souvent dans le temps nécessaire pour réaliser des tests comparatifs probants.

Avec ce banc d'essai, des enregistrements de données de **10 à 15 minutes** suffisent pour constater des **écarts significatifs** entre deux configurations de matériaux de construction ou de matériaux isolants.

\* **Les points essentiels du programme abordés en 1<sup>ère</sup> et terminale STI2D**

Enseignement technologique commun	Enseignement technologique spécifique	
	Spécialité « Architecture et construction »	Spécialité « Énergie et environnement »
2.3.2 comportement des matériaux	1.2 Projet architectural	2.3 Paramètre influant la conception
2.3.5 Comportement énergétique des systèmes	2.1 Paramètres influant la conception	2.4 Approche comportementale
3.1.1 Choix des matériaux	2.2 Solutions technologiques	
	2.3 Modélisations, essais et simulations	

2. Organisation pédagogique de la séquence

<b>Problématique générale</b>		<b>Comment améliorer l'efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat ?</b>						
<b>ORGANISATION</b>	<b>Centres d'Intérêt abordés dans la séquence</b>							
		<b>CI 4</b>	Dimensionnement et choix des matériaux et structures				8 h	
		<b>CI 6</b>	Efficacité énergétique lié au comportement des matériaux				4 h	
	Nb de semaines	~ 3 sem.						
	Total horaire élève	20 heures						
	<b>Activités en groupes allégés</b>							
	Horaire élève groupe	~ 10 h						
	<b>Cours</b>		<b>Activité découverte</b>	<b>Activité 1</b>	<b>Activité 2</b>	<b>Activité 3</b>	<b>Activité 4</b>	
			L'efficacité énergétique	Dimensionner un chauffage	Isolation thermique des matériaux de construction	Les isolants intérieurs et extérieurs	Isolation thermique ouvertures ventilation	
	<b>Sem 1</b>	L'éco construction des produits	2h	Heures élève	2	2	2	2
	Structure et matériaux dans l'habitat	Objectifs		Dimensionner un chauffage / Caractériser des matériaux et justifier leur choix / Améliorer l'efficacité énergétique des matériaux dans l'habitat				
	L'énergie dans l'habitat	Nb élèves		4	4	4	4	4
	Comportement des matériaux	Nb postes		2	2	2	2	2
<b>Sem 2</b>	Efficacité énergétique et matériaux	3h	Durée	~ 3 h	~ 3 h	~ 2 h	2h	2 h
	Comportement des systèmes		Supports 1	Logiciel XMind Carte mentale				
			Supports 2		Logiciel Archimist			
			Supports 3			<b>BE isolation thermique</b>		
			Supports 4				<b>BE isolation thermique</b>	
			Supports 5					<b>BE isolation thermique</b>

## Activité découverte - Efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat 1/2

### ❶ Les points du programme – STI2D

#### A - Objectifs et compétences des enseignements technologiques communs du baccalauréat STI2D

Objectifs de formation	Compétences attendues
O6 - Communiquer une idée, un principe ou une solution technique, un projet, y compris en langue étrangère	CO6.1. Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés

### ❷ La mise en place de l'activité

#### 2.1 Organisation

Cette première activité « découverte » permet de démarrer la séquence en travaillant autour de sa problématique générale : **Comment améliorer l'efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat ?**

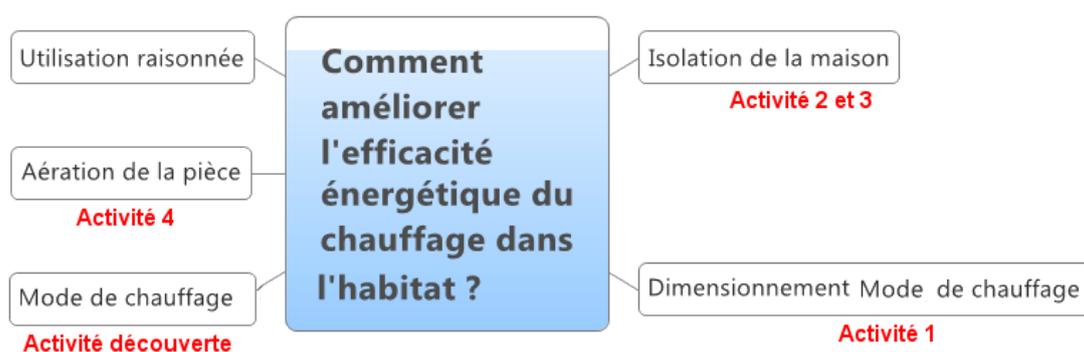
Elle est menée dans le cadre de l'enseignement technologique commun et permet de poser les principes fondamentaux de **l'énergie thermique** en lien avec le cours de physique. Elle nécessite au moins trois heures successives afin de laisser le temps aux élèves de s'approprier les deux logiciels utilisés pour communiquer leurs réponses.

La première recherche sur les différents modes de chauffage et leurs principales caractéristiques.  
La seconde recherche sur les solutions pour améliorer l'isolation thermique d'une habitation vise à poser la notion d'efficacité énergétique.

Autour de cette problématique générale les élèves en groupe vont :

- chercher à caractériser un mode de chauffage et présenter leur travail sous forme d'un diaporama (5 mn) ;
- réfléchir à comment améliorer l'efficacité énergétique du chauffage en décrivant toutes leurs idées et connaissances à l'aide d'une carte mentale et présenter leur travail oralement (5 mn).

**Nota :** parmi les 5 idées à développer, 4 idées de la carte mentale sont développées dans ce dossier sous forme d'activités pédagogiques comme le montre le schéma ci-dessous.



Chaque partie de l'activité est suivie d'un moment de synthèse collective.

Les élèves notent en fin d'activité sur leur classeur ou cahier, le bilan de l'activité (structuration des connaissances).

L'accent sera mis sur les notions d'**efficacité énergétique d'un système**, d'**efficacité énergétique passive et active** et éventuellement la notion d'hygrothermie.

## Activité découverte - Efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat 2/2

### Structuration des connaissances

**L'efficacité énergétique** est le rapport entre l'énergie directement utilisée (dite énergie utile) et l'énergie consommée (en général supérieure du fait des « pertes »).

Elle s'applique à un équipement énergétique particulier, par exemple un radiateur électrique, une chaudière ou une pompe à chaleur... Elle relève des qualités intrinsèques de cet équipement.

- L'efficacité énergétique passive se rapporte à l'isolation, la ventilation et aux équipements de chauffage.
- L'efficacité énergétique active concerne la régulation, la gestion de l'énergie, la domotique et la Gestion Technique du Bâtiment (GTB).

Cumulées, l'efficacité énergétique passive et l'efficacité énergétique active révèlent la **performance énergétique globale** d'une habitation.

### 2.2 Matériel(s) et ressource(s) nécessaire(s)

Logiciel de PréAO (Libre office Impress, Powerpoint, etc.) + logiciel « **XMind** » + Internet + **Document ressource** « L'énergie thermique – Fondamentaux Niveau 1 »

**Nota** : l'utilisation d'un logiciel de PréAO et la réalisation d'un diaporama nécessitent un document ressource relatif à l'utilisation de ce type de logiciel.



Le logiciel **XMind** est un logiciel gratuit et « Open Source » de création de « **Carte mentale** », d'organigrammes, cartes, plans... Ce logiciel permet d'organiser très simplement avec les élèves des idées et des informations sous la forme de cartes heuristiques, et de les exporter sous forme d'images, en html, pdf, rtf...

#### Principales fonctions du logiciel :

- Plusieurs types de graphismes pour les cartes (thèmes) ;
- Fonction carte heuristique, gestion de projet, rendez-vous, arbres descendants ;
- Liens entre les nœuds ;
- Etiquettes, notes ;
- Iconographie (marqueur), liens ;
- Export : image, freemind/freeplane, HTML, Texte, MarkerPage ;
- Import : freemind/freeplane, MarkerPage, MindManager, Xmind 2008 ;
- facilité de mise en ligne de document.

**Activité découverte - Efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat 1/2****? Problématique**

*De nombreuses familles cherchent des solutions pour réduire le coût du chauffage dans leur habitation tout en gardant le même confort.*

**Comment améliorer l'efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat ?**

**Les supports de travail :** Logiciel « Xmind » + Logiciel PréAO + document ressource « L'énergie thermique - Fondamentaux Niveau 1 »

**Partie 1 – Rechercher et communiquer sur les différents modes de chauffage**

**L'efficacité énergétique** est le rapport entre l'énergie directement utilisée (dite énergie utile) et l'énergie consommée (en général supérieure du fait des pertes). Elle s'applique à un équipement énergétique particulier, par exemple un radiateur électrique, une chaudière, une pompe à chaleur,...

1. Chaque groupe réalise un tableau qui regroupe les caractéristiques d'un mode de chauffage (a. Chauffage électrique, b. Chauffage au fioul, c. Chauffage au gaz, d. Chauffage au bois, e. Chauffage par géothermie, f. Chauffage par pompe à chaleur, g. Chauffage solaire)

**Exemple de tableaux à réaliser**

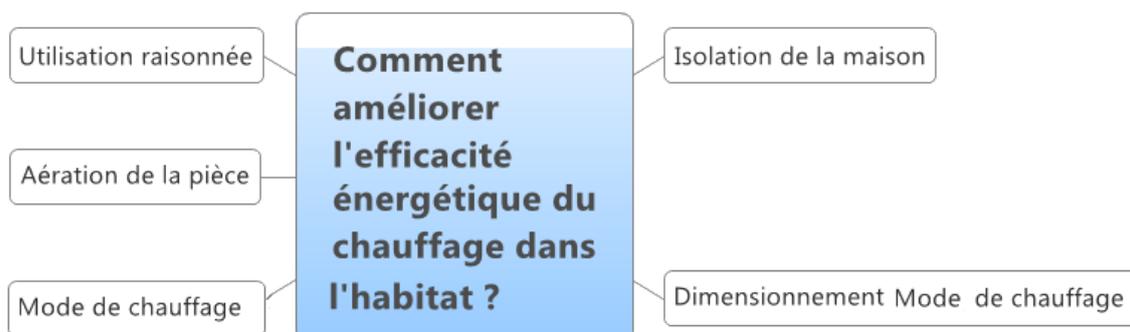
<b>Mode de chauffage</b>	..... .....
<b>Types d'appareils</b>	..... .....
<b>Principe de fonctionnement</b>	..... .....
<b>Volume de stockage</b>	..... .....
<b>Évolution des technologies</b>	..... .....
<b>Avantage(s) Inconvénient(s)</b>	..... .....

2. En vous aidant d'un outil de présentation assistée par ordinateur (PréAO), préparer un diaporama de 4 pages maximum sur le mode de chauffage que vous avez étudié.

3. Chaque groupe de travail dispose de 5 minutes pour présenter son diaporama.

**Activité découverte - Efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat 2/2****Partie 2** - Rechercher et représenter des idées sur l'efficacité énergétique

1. Rechercher et noter pour les cinq idées de la carte mentale suivante les informations qui peuvent leur être associées.



2. Ouvrir le fichier « *BE Therm Lycée efficacité énergétique du chauffage base carte mentale élève.xmind* ». Compléter la carte mentale et enregistrer votre travail sous un nom différent.

3. Préparer un exposé de 5 minutes présentant l'ensemble de vos réflexions relatives à la carte mentale que vous avez réalisée.

## Activité découverte - Efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat 1/2

**Partie 1** – Rechercher et communiquer sur les différents modes de chauffage et leur efficacité

**CORRIGÉ**

Exemple de réponses attendues pour le mode de chauffage électrique.

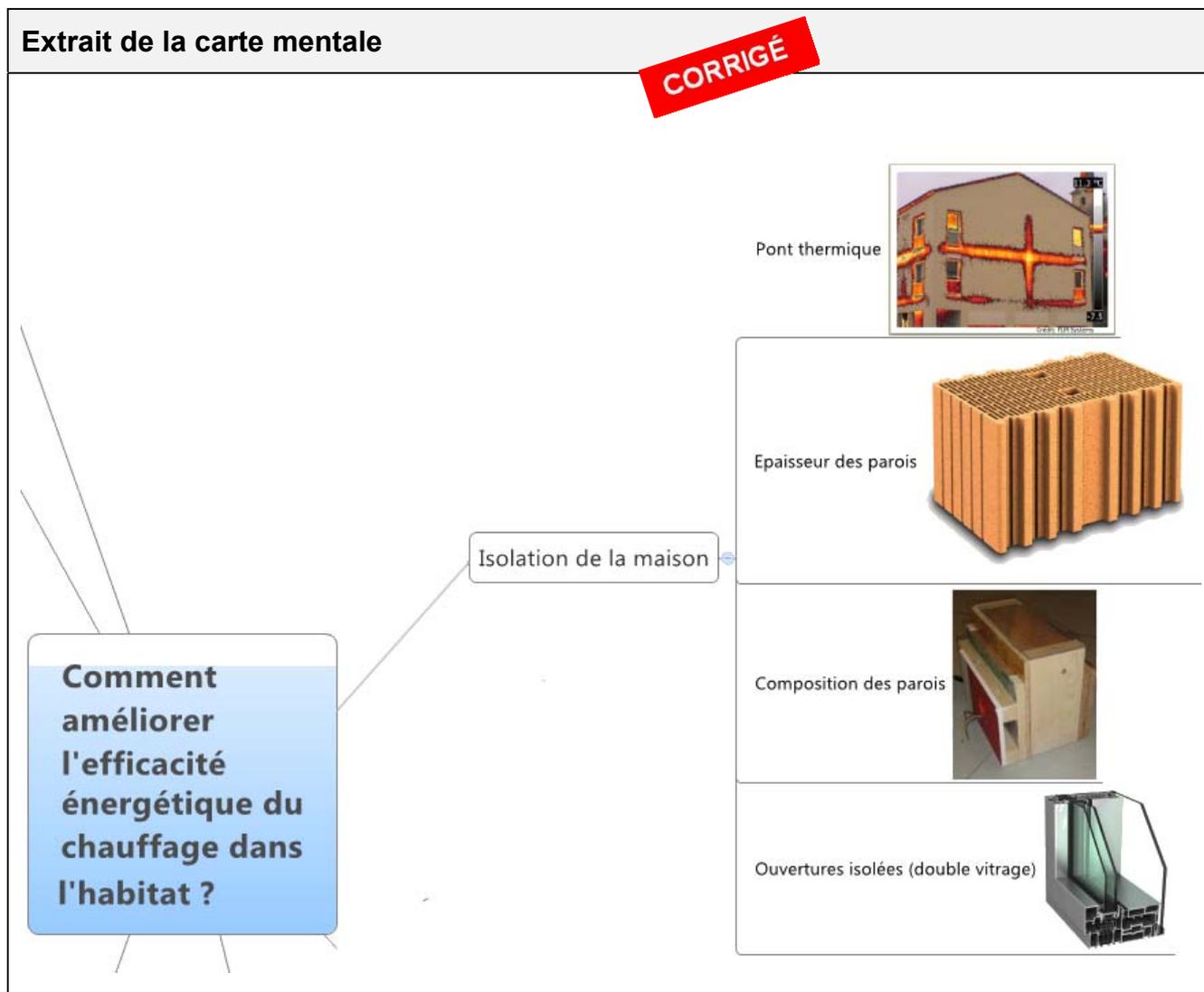
<b>Mode de chauffage</b> ⇒	<b>Chauffage électrique</b>
<b>Types d'appareils</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- radiateur à convection (convecteur) ;</li> <li>- radiateur électrique soufflant ;</li> <li>- radiateur électrique à bain d'huile ;</li> <li>- radiateur électrique à panneau radiant ;</li> <li>- radiateur à accumulation (à inertie).</li> </ul>
<b>Principe de fonctionnement</b>	<p>Radiateur à convection (convecteur)</p> <p>L'air froid rentre dans la partie basse de l'appareil. Il est chauffé par la résistance placée à l'intérieur, puis il ressort à travers une grille frontale. La production immédiate de chaleur permet de réchauffer la pièce très rapidement.</p>
<b>Volume de stockage</b>	Pas de source d'énergie à stocker
<b>Évolution des technologies</b>	<p>Développement des radiateurs à panneau radiant pour obtenir une chaleur plus douce.</p> <p>Développement du radiateur électrique à accumulation aussi appelé radiateur à inertie, il est conçu pour des pièces de jour et de circulation : séjour, entrée, couloir...</p> <p>Il fait le plein d'énergie la nuit, profitant ainsi du tarif heures creuses, puis diffuse la chaleur en douceur.</p>
<b>Avantage(s)</b> <b>Inconvénient(s)</b>	<p><b>Avantage(s)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- facile à mettre en œuvre et sûrement l'une des solutions les moins coûteuses à l'installation ;</li> <li>- ne nécessite pratiquement aucun entretien.</li> </ul> <p><b>Inconvénient(s)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dépendance vis-à-vis des fournisseurs ;</li> <li>- coût annuel assez élevé.</li> </ul>

## Activité découverte - Efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat 2/2

### Partie 2 – Rechercher et représenter des idées sur l'efficacité énergétique passive dans l'habitat

1. Rechercher et noter pour les cinq idées de la carte mentale suivante les informations qui peuvent leur être associées.

Extrait de la carte mentale complétée à titre d'exemple disponible au format du logiciel gratuit « XMind »



Fichier : « BE Therm Lycée Efficacité énergétique du chauffage carte mentale complétée « XMind »

### Structuration des connaissances

**L'efficacité énergétique** d'un mode de chauffage est le rapport entre **l'énergie directement utilisée** (dite énergie utile) et **l'énergie consommée** (en général supérieure du fait des « pertes »).

**L'efficacité énergétique passive** se rapporte à l'isolation, la ventilation et aux équipements de chauffage

**L'efficacité énergétique active** touche à la régulation, la gestion de l'énergie, la domotique et la Gestion Technique du Bâtiment (GTB).

Cumulées, l'efficacité énergétique passive et l'efficacité énergétique active révèlent la **performance énergétique globale** d'une habitation.

Pour améliorer l'efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat il faut choisir un mode de chauffage adapté et le dimensionner correctement, isoler l'habitation, réguler l'aération et utiliser raisonnablement le chauffage.

# L'énergie thermique – Fondamentaux (Niveau 1)

## 1. L'énergie thermique

L'énergie thermique est une énergie cinétique qui représente l'agitation désordonnée des molécules et des atomes d'un corps solide, liquide ou gazeux. Elle fait partie de l'énergie interne d'un corps.

### Les transferts thermiques

Les transferts thermiques traduisent le déplacement d'énergie d'un point à un autre.

En effet, cette énergie thermique se déplace naturellement du milieu le plus chaud vers le milieu le moins chaud pour tendre vers un équilibre naturel des températures.

Ils atteignent un équilibre lorsque la température des corps en contact est égale.

Ce transfert d'énergie est exprimé en **joules (J)**.

**Nota** : 1 calorie (énergie pour élever 1 gramme d'eau de 1 degré)  $\approx$  4,2 Joules

### La température

La quantité de chaleur échangée par un système est évaluée en mesurant la variation de température, et en connaissant les caractéristiques thermiques du milieu.

La température d'un corps est liée à l'importance de l'agitation thermique des molécules qui le constituent.

*Plus le corps est chaud plus les atomes qui le constituent s'agitent.*

Elle est mesurable à l'aide d'instruments, comme les thermomètres (d'ambiance, à contact, à distance).

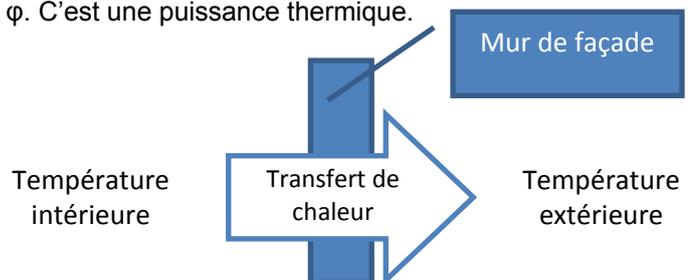
Exemple : Caméra thermique, pyromètre, solarimètre, etc.



### Les flux thermiques

C'est la quantité d'énergie qui est échangée pendant une unité de temps à travers une surface.

Elle est exprimée en Joules/s donc en watt et noté  $\phi$ . C'est une puissance thermique.



### Les formes de chaleur

#### Chaleur latente de changement d'état (L)

La chaleur latente est un apport de chaleur qui ne provoque pas d'élévation de température du système, mais provoque un changement d'état (vaporisation, fusion ...).

*Exemple : je chauffe la glace, sa température se stabilise à 0°C et elle finit par fondre.*

#### Chaleur sensible

La chaleur sensible est un apport de chaleur qui provoque une élévation mesurable de la température de ce système.

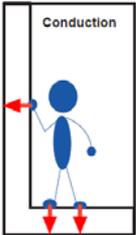
*Exemple : je chauffe de l'eau et je mesure sa température qui augmente. J'apporte de la chaleur sensible.*



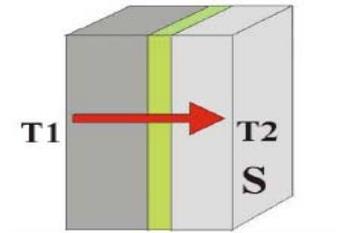
## 2. Les transferts thermiques

Les transferts thermiques entre un bâtiment et son environnement s'effectuent suivant **trois modes** :

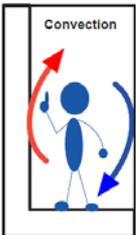
### La conduction



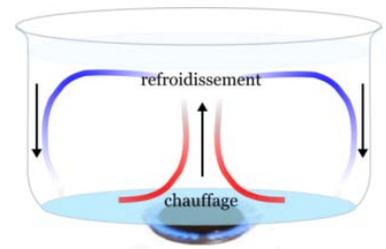
La conduction thermique est le phénomène par lequel la température d'un milieu s'homogénéise. Elle correspond à la transmission de l'agitation thermique entre molécules et se produit dans un solide, un liquide ou un gaz. De proche en proche, la chaleur captée se répartit dans toute la masse du corps, jusqu'à atteindre l'uniformité des températures.  
*Exemple : la température d'un barreau chauffé à une extrémité a tendance à s'uniformiser par conduction thermique.*



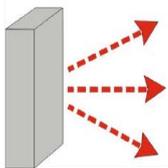
### La convection



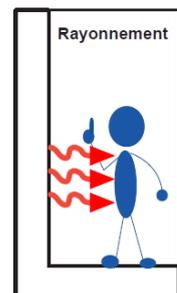
La chaleur se propage à l'intérieur de la matière (un même corps solide ou un même fluide liquide ou gazeux), de particules en particules. Il se produit dans un fluide en mouvement.  
*Exemple : une masse d'air chauffée se dilate et devient plus légère. Elle monte en transportant la chaleur du bas vers le haut.*  
La convection peut être naturelle ou forcée (accélération artificielle du fluide (ventilateur, turbine, pompe ...)).



### Le rayonnement



C'est un transfert d'un corps à un autre par ondes électromagnétiques donc sans contact. Il peut se produire dans tous les milieux, vides y compris. Plus un corps est chaud, plus il émet de rayons infrarouges qui transmettent l'énergie thermique.  
*Exemple : la Terre est chauffée par le rayonnement du soleil.*



## Activité 1 - Déperdition d'énergie dans un habitat

1/2

### ❶ Les points du programmes – STI2D

#### A. Objectifs et compétences de la spécialité « Architecture et construction »

Objectifs de formation	Compétences attendues
O8 - Valider des solutions techniques	CO8.ac2. Analyser les résultats issus de simulations ou d'essais de laboratoire

#### B. Extrait programme de la spécialité « Architecture et construction » (extraits)

##### 2. Conception d'un ouvrage

2.1 Paramètres influant la conception	ETC	1ère/T	Tax	Commentaires
Le confort : - hygrothermique - acoustique - visuel - respiratoire	*	1ère	2	<b>Thermique</b> : se limiter à l'étude des paramètres du confort hygrothermique et des différents éléments du bilan thermique en lien avec la conception architecturale.
2.1 Solutions technologiques				
Maîtrise des consommations d'énergie : - performances thermiques du bâti ; - gains passifs (enveloppe, écrans solaires, éclairage naturel) ; Maîtrise des pertes : - températures ambiantes de confort intermittence des consignes ; - gestion d'éclairage et d'écrans solaires ; - récupération d'énergie ; - pilotage global de l'énergie sur site.		1 <sup>ère</sup> /T	2	Les études sont menées à l'aide d'outils de simulation numérique, le diagnostic de performance énergétique étant connu. Dans le cadre de la spécialité AC, l'approche doit être globale, elle repose donc sur des études de dossiers technologiques de constructions sans recherche d'exhaustivité dans les solutions technologiques possibles. L'objectif n'est pas de faire l'étude de systèmes techniques de production d'énergie mais par exemple de mettre en évidence les avantages et inconvénients de l'intégration de plusieurs systèmes dans un bâtiment d'habitation ou à usage tertiaire.
2.3 Modélisations, essais et simulations				
Confort hygrothermique : - caractéristiques et comportements thermiques des matériaux et parois.	*	1 <sup>ère</sup> /T	3	Il s'agit de compléter les éléments des enseignements technologiques communs par des études de dossiers technologiques du domaine de la construction. Le comportement thermique d'une paroi sera traité sur une paroi composite (comportant une partie vitrée). On étudie la spécificité du vitrage vis-à-vis d'un bilan énergétique annuel (thermique, éclairage naturel).

#### A. Objectifs et compétences de la spécialité « Énergie et environnement »

Objectifs de formation	Compétences attendues
O8 - Valider des solutions techniques	CO8.ee1. Renseigner un logiciel de simulation du comportement énergétique avec les caractéristiques du système et les paramètres externes pour un point de fonctionnement donné

## Activité 1 - Déperdition d'énergie dans un habitat

2/2

### B. Extrait programme de la spécialité « Énergie et environnement »

#### 1. La démarche de projet

1.4 Communication technique	ETC	1ère/T	Tax	Commentaires
Compte-rendu d'une activité de projet Présentation d'une intention de conception ou d'une solution Animation d'une revue de projet	*			<b>Thermique</b> : se limiter à l'étude des paramètres du confort hygrothermique et des différents éléments du bilan thermique en lien avec la conception architecturale.

#### 2. Conception d'un système

2.3 Paramètre influant la conception				
Efficacité énergétique passive et active d'un système		1 <sup>ère</sup> /T	3	Ce concept a été abordé dans les enseignements technologiques communs. Dans l'enseignement spécifique de la spécialité, il s'agit de proposer des solutions permettant d'améliorer l'efficacité énergétique d'un système.

### La mise en place de la séquence

#### 2.1 Organisation

L'activité 1 permet de travailler autour de la problématique suivante : **Comment évaluer les pertes énergétiques d'une habitation ?**

Autour de cette problématique les élèves vont :

- calculer les pertes énergétiques d'une habitation en utilisant les formules adéquates ;
- utiliser un simulateur de bilan thermique pour vérifier que leurs calculs de déperdition d'énergie sont fiables.

Chaque partie de l'activité est suivie d'un moment de synthèse.

Les élèves notent en fin d'activité sur leur classeur ou cahier le bilan de l'activité (structuration des connaissances). L'accent sera mis sur la nécessité d'isoler les habitations pour que l'efficacité énergétique du chauffage soit maximum.

#### Structuration des connaissances

Pour connaître l'efficacité thermique d'un mode de chauffage dans une habitation il faut dresser un **bilan thermique** selon les méthodes établies du mode de calcul des **déperditions de chaleur**. Il est possible également d'utiliser un logiciel de simulation qui permet de vérifier les résultats de la méthode précédente et de classer l'installation de chauffage selon sa **performance énergétique** (Étiquette DPE : diagnostic performance énergétique).

#### 2.2 Matériel(s) et ressource(s) nécessaire(s)

Logiciel « **Archimist** » + Document ressource N°1 « Les déperditions d'énergie dans une habitation ». Ce simulateur est téléchargeable gratuitement à l'adresse : [www.archimist.com](http://www.archimist.com)

Dans le cadre de l'enseignement de la technologie au lycée (séries STID 2D et S-SI), le logiciel « **Archimist** » permet aux élèves de simuler le **bilan thermique** d'une habitation. Ce simulateur calcule en temps réel le bilan thermique d'une habitation, ainsi que la consommation et le coût annuel du chauffage.



Au cours de différentes étapes les élèves vont à l'aide du logiciel, créer, simuler et comparer différents scénarios d'amélioration :

- à l'échelle, dessiner les murs, placer les portes et les fenêtres ;
- décrire la composition des murs, fenêtres, sols et plafonds ;
- orienter l'habitation et définir des températures de consigne différentes en fonction des pièces, les dimensions des radiateurs et leur répartition dans l'habitation.

## Activité 1 – Déperdition d'énergie dans un habitat

1/2

### ? Problématique

Dans le cadre d'un projet immobilier, le bureau d'étude d'une entreprise est amené à réaliser le dimensionnement d'une installation de chauffage pour améliorer son efficacité énergétique. Un problème technique se pose :

**Comment évaluer les pertes énergétiques d'une habitation ?**

### Les supports de travail

Logiciel « Archimist » + Document ressource N°1 « Les déperditions d'énergie dans une habitation ».

### Partie 1 – Calculer les pertes d'énergie

Une habitation de plain-pied, type **T5** ou **F5** (5 pièces) est implantée à une altitude de **220 m** dans le département de **l'Ain (01)**.

### Données techniques

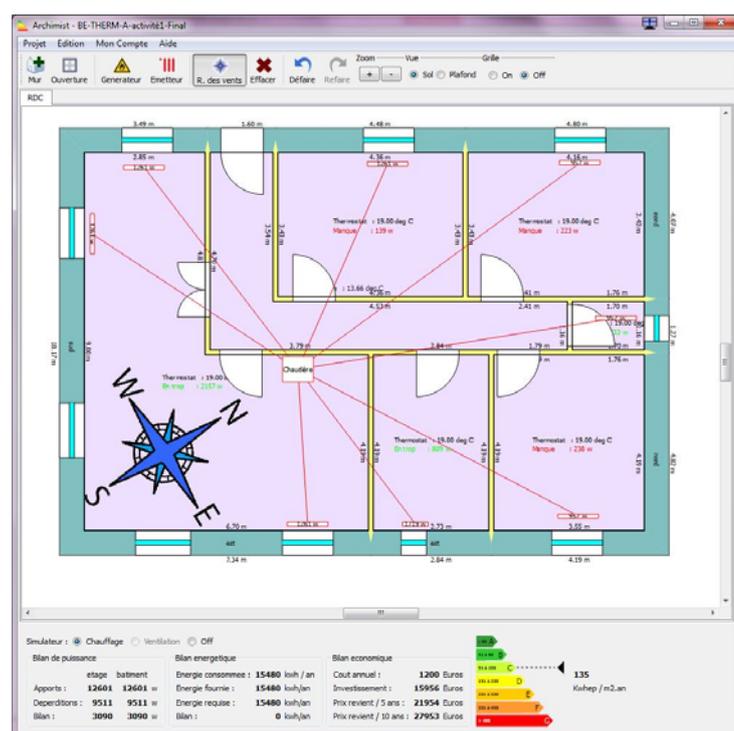
Dimensions intérieures de l'habitation : longueur 13 m ; largeur 9 m ; hauteur sous plafond 2,5 m.

Elle comprend :

- 6 fenêtres : 1,2 m (Largeur) x 1,3 m (Hauteur) ;
- 2 fenêtres (Salle de bain + WC) : 0,6 m (Largeur) x 0,75 m (Hauteur) ;
- 2 portes-fenêtres : 1,3 m (Largeur) x 2,1 m (Hauteur) ;
- 1 porte d'entrée pleine : 1 m (Largeur) x 2 m (Hauteur).

### Remarques :

- Cette habitation est équipée de menuiseries extérieures en PVC.
- toutes les fenêtres sont à double vitrage de type : 4/6/4 (verre/air/verre) ;
- la structure des murs porteurs est composée d'enduit à la chaux (2 cm), parpaings (25 cm), polystyrène expansé (30 cm), et plaques de plâtre BA13 (13 mm) ;
- les cloisons sont composées de parpaings (10 cm), plaques de plâtre BA13 (13 mm) de chaque côté ;
- le sol de la maison est constitué de dalles en béton plein (35 cm), carrelage (2 cm) ;
- le plafond est constitué de plaques de plâtre BA13 (13 mm), laine de verre (8 cm).



Les occupants de cette habitation souhaitent une température « confort » de **19°C** dans toutes les pièces (température prescrite par les pouvoirs publics).

Exemple de projet réalisé sous Archimist

## Activité 1 - Déperdition d'énergie dans un habitat

2/2

1. Sachant que la largeur intérieure est d'environ 9 m et que la longueur est de 13 m, déterminer la surface de cette habitation.

.....  
 .....

En vous aidant du **Document ressource N°1**

2. Préciser la zone climatique dans laquelle est située cette habitation. En déduire la température minimale à prendre en compte.

.....  
 .....

3. Déterminer le volume habitable.

.....

4. Calculer les surfaces totales des parois de cette habitation :

Vitrage : .....

.....

Murs : .....

.....

Plancher : .....

.....

Toitures : L'isolation se faisant au niveau des parties horizontales, on considèrera la surface du toit équivalente à la surface du plancher.

Quels que soient les résultats trouvés aux questions précédentes on prendra, pour la suite, les valeurs suivantes :  
 Longueur 13 m ; Largeur 9 m ; Hauteur sous plafond 2,5 m ;  
 Surface habitable 117 m<sup>2</sup> ; Surface des vitrages 15,72 m<sup>2</sup> ; Surface des murs 92,28 m<sup>2</sup>.

5. Pour chacune des surfaces, déterminer les déperditions ( $D_p$ ) dues aux parois. En déduire les déperditions totales pour l'ensemble de cette habitation.

Vitrage : .....

Murs : .....

Plancher : .....

Toiture : .....

Porte : .....

Déperdition totale : .....

6. Calculer les déperditions dues au renouvellement d'air ( $D_R$ ).

.....

7. Calculer les déperditions de cette maison pour 1 degré de différence entre la température extérieure et intérieure ( $G_V$ ).

.....

8. Calculer les déperditions totales de cette habitation ( $D$ ).

.....

9. À partir des réponses précédentes, calculer la puissance totale nécessaire pour cette habitation ( $P$ ).

.....

## Activité 1 - Déperdition d'énergie dans un habitat

CORRIGÉ

### Partie 1 – Calculer des pertes d'énergie

1. Sachant que la largeur intérieure est d'environ 9 m et que la longueur est de 13 m, déterminer la surface de cette habitation.

La surface de la maison est donc de :  $13 \times 9 = \sim 117 \text{ m}^2$ .

2. Préciser la zone climatique dans laquelle est située cette habitation. En déduire la température minimale à prendre en compte.

D'après la carte des zones climatiques et température, l'habitation est située dans l'Ain, donc en zone H1 et la température de base relevée est  $-11^\circ\text{C}$ .

Altitude (m)	Températures extérieures de base ( $^\circ\text{C}$ ) pour des températures de base du niveau de la mer de								
	$-4^\circ\text{C}$	$-5^\circ\text{C}$	$-6^\circ\text{C}$	$-8^\circ\text{C}$	$-9^\circ\text{C}$	$-10^\circ\text{C}$	$-12^\circ\text{C}$	$-15^\circ\text{C}$	
0 à 200	-4	-5	-6	-8	-9	-10	-12	-15	
201 à 400	-5	-6	-7	-9	-10	-11	-13	-15	
401 à 500	-6	-7	-8	-10	-11	-12	-14	-16	
501 à 600	-6	-7	-9	-11	-11	-13	-15	-17	
601 à 700	-7	-8	-10	-12	-12	-14	-16	-18	
701 à 800	-7	-8	-11	-13	-	-15	-17	-19	
801 à 900	-8	-9	-12	-14	-	-16	-18	-20	
901 à 1 000	-8	-9	-13	-15	-	-17	-19	-21	
1 001 à 1 100	-	-10	-14	-16	-	-18	-20	-22	
1 101 à 1 200	-	-10	-	-17	-	-19	-21	-23	
1 201 à 1 300	-	-11	-	-18	-	-20	-22	-24	
1 301 à 1 400	-	-11	-	-19	-	-21	-23	-25	
1 401 à 1 500	-	-12	-	-20	-	-22	-24	-25	
1 501 à 1 600	-	-12	-	-21	-	-23	-	-	
1 601 à 1 700	-	-13	-	-22	-	-24	-	-	
1 701 à 1 800	-	-13	-	-23	-	-25	-	-	
1 801 à 1 900	-	-14	-	-24	-	-26	-	-	
1 901 à 2 000	-	-14	-	-25	-	-27	-	-	

3. Déterminer le volume habitable de cette habitation.

Volume = surface x Hauteur =  $13 \times 9 \times 2,50 = 292,5 \text{ m}^3$ .

4. Calculer les surfaces totales des parois de l'habitation.

Vitrage : Surface des vitrages ( $S_1$ ) = Somme des surfaces de fenêtres

$S_1 = 6 \times 1,20 \times 1,3 + 2 \times 1,3 \times 2,1 + 2 \times 0,6 \times 0,75 = 15,72 \text{ m}^2$

Murs : Surface des murs ( $S_2$ ) = [(longueur + largeur) x 2 x hauteur] – [surface des vitrages + surface porte]

$S_2 = [(13 + 9) \times 2 \times 2,50] - [15,72 + 2] = 92,28 \text{ m}^2$ .

Plancher : Surface du plancher ( $S_3$ ) = Longueur x Largeur

$S_3 = 13 \times 9 = 117 \text{ m}^2$ .

5. Pour chacune des surfaces, déterminer les déperditions ( $D_p$ ) dues aux parois. En déduire les déperditions totales pour l'ensemble de l'habitation.

$$\text{Vitrage : } D_{p\text{vitrage}} = K \times S_1 = 2,25 \times 15,72 = 35,37 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\text{Murs : } D_{p\text{murs}} = K \times S_2 = 0,6 \times 92,28 = 55,37 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\text{Plancher : } D_{p\text{plancher}} = K \times S_3 = 0,40 \times 117 = 46,8 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\text{Toiture : } D_{p\text{toiture}} = K \times S_3 = 0,25 \times 117 = 29,25 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\text{Porte : } D_{p\text{porte}} = K \times S = 1,5 \times 2 = 3 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\text{Les déperditions totales dues aux parois} = 35,37 + 55,37 + 46,8 + 29,25 + 3 = 169,79 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

6. Calculer les déperditions dues au renouvellement d'air ( $D_R$ ).

$$D_R = 0,34 \times D = 0,34 \times 105 = 35,7 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

7. Calculer les déperditions de cette maison pour 1 degré de différence entre la température extérieure et intérieure ( $G_V$ ).

$$G_V = D_p + D_R = 169,79 + 35,7 = 205,49 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

8. Calculer les déperditions totales de cette maison ( $D$ ).

$$D = G_V \times \Delta t = (205,49) \times [19 - (-11)] = 6164 \text{ W}$$

9. À partir des réponses précédentes, calculer la puissance totale nécessaire pour cette habitation ( $P$ ).

$$P = D + (10 \times Vh) = 6164 + (10 \times 292,5) = 9089 \text{ W}$$

## Activité 1 - Déperdition d'énergie dans un habitat

1/2

### Partie 2 – Evaluer les pertes d'énergie à l'aide d'un logiciel de simulation

Cette méthode va vous permettre de vérifier les résultats de l'étude précédente en utilisant le logiciel « Archimist ».



En vous aidant du **Document ressource n°1 bis**, et en vous reportant aux données techniques de l'habitation et créer votre projet à partir du logiciel Archimist.

pa

**Remarques** : En cas de difficultés pour l'utilisation du logiciel, vous pouvez consulter le **guide utilisateur** du menu **Aide**.

#### Étape 1 - Création des murs

☞ Dessiner l'ossature de la maison (murs porteurs) puis définir les matériaux utilisés pour la composition des murs.

☞ Réajuster si nécessaire les dimensions des murs.

☞ Saisir ensuite toutes les cloisons intérieures comme représentées sur le plan.

#### Étape 2 - Création des portes et fenêtres

☞ Placer maintenant toutes les ouvertures extérieures (porte d'entrée, fenêtres et portes fenêtres) comme représentées sur le plan.

☞ Pour chaque ouverture, définir les dimensions et les compositions.

#### Étape 3 - Création du sol et du plafond

☞ Saisir la composition du sol puis ensuite celle pour le plafond.

#### Étape 4- Orientation de l'habitation

☞ Orienter l'habitation comme indiquée sur l'exemple ci-après :

#### Étape 5 - Création du système de chauffage

☞ Placer une chaudière à condensation (gaz naturel) au niveau de la cuisine.

☞ Placer dans chaque pièce des radiateurs jusqu'à obtenir un bilan de puissance équilibré (apport = déperditions)

#### **Remarques importantes** :

Les radiateurs seront placés prioritairement sous les fenêtres.

Vous utiliserez des radiateurs en acier formés de deux panneaux avec deux ailettes.

Les dimensions standards recommandées sont :

0,96 m x 0,80 m

0,96 m x 0,60 m

0,60 m x 1,80 m (sèche serviette)

La température de fonctionnement des radiateurs sera de 55°C.

## Activité 1 - Déperdition d'énergie dans un habitat

2/2

1. Relever les déperditions totales pour cette maison puis comparer au résultat trouvé à la question 9 (partie 1).

.....

.....

2. Dresser l'inventaire des radiateurs nécessaires à cette installation de chauffage.

.....

.....

3. Déterminer la consommation énergétique totale de cette installation.  
(Prix TTC du kWh indicatif : 0,12 €)

.....

.....

4. Relever sur le logiciel « Archimist » la quantité d'énergie primaire consommée par mètre carré habitable et par an.

.....

.....

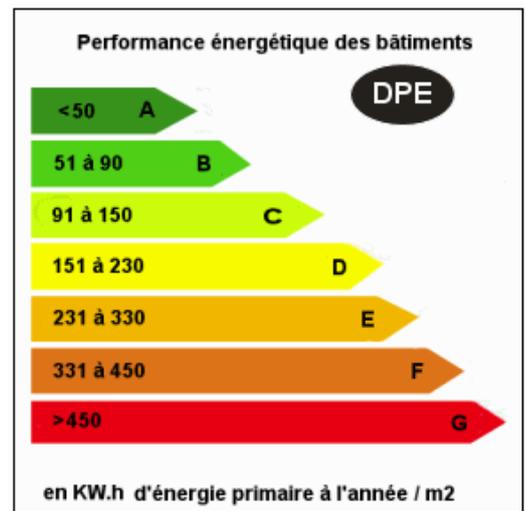
.....

5. En déduire le classement énergétique de cette installation (voir étiquette énergie ci-contre).

.....

.....

.....



6. Préciser sur quels éléments il faut être vigilant pour réduire les déperditions d'énergie dans un bâtiment.

.....

.....

.....

### Remarque :

**Le diagnostic de performance énergétique ou DPE** est un diagnostic réalisé en France sur des biens immobiliers. Il est un des documents faisant partie du dossier de diagnostics techniques (DDT). La durée de validité de ce DPE a été fixée à dix ans par le décret no 2011-413 du 13 avril 2011.

Le **DPE** doit être présenté lors de la vente ou location des logements et des bâtiments tertiaires (bureaux, hôtel, etc.) depuis le 1er juillet 2007.

Il vise à informer le propriétaire et le locataire de la consommation d'énergie du logement ou du bâtiment tertiaire sur son chauffage, sa climatisation, sa production d'eau chaude sanitaire (ECS), mais pas sur l'électricité spécifique (éclairage, appareils électroménagers, etc.).

## Activité 1 - Déperdition d'énergie dans un habitat

### Partie 2 – Évaluer les pertes d'énergie à l'aide d'un logiciel de simulation

1. Relever les déperditions totales pour cette maison puis comparer au résultat trouvé à la question 9 (partie 1).

On relèvera avec le simulateur « Archimist » : 9511 W.

Nous avons trouvé 9089 W par la méthode des déperditions. Cet ordre de valeur est confirmée par le logiciel « Archimist ».

2. Dresser l'inventaire des radiateurs nécessaires à cette installation de chauffage.

- 4 radiateurs 0,96 m x 0,80m

- 3 radiateurs 0,96 m x 0,60m

- 1 radiateur 0,60m x 1,80m (sèche serviette)

**CORRIGÉ**

3. Déterminer la consommation énergétique totale de cette installation. (Prix TTC du kWh indicatif : 0,12 €)

La consommation annuelle est de 15480 kWh, ce qui représente un coût de ~1858 €.

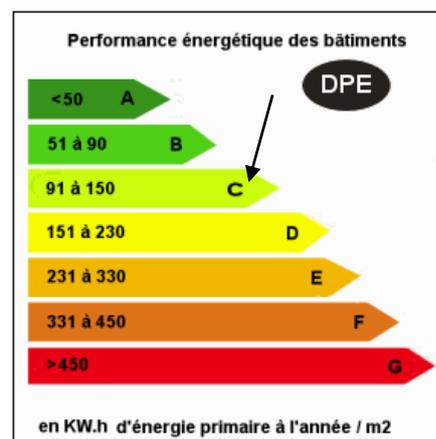
Ce montant varie en fonction de la surface de la maison, de la zone climatique et du type d'abonnement. (Prix TTC du kWh indicatif : 0,12 € option base compteur 6 kW).

4. Relever sur le logiciel « Archimist » la quantité d'énergie primaire consommée par mètre carré habitable et par an.

On relève avec le logiciel « Archimist » le résultat suivant : 135 kWh/m<sup>2</sup>.an

5. En déduire le classement énergétique de cette installation selon l'étiquette énergie logement ci-contre.

Ce qui donne un classement en **C** selon l'étiquette énergie logement ci-contre.



6. Préciser sur quels éléments il faut être vigilant pour réduire les déperditions d'énergie dans un bâtiment.

- les matériaux lors de la construction des murs ;
- l'isolation intérieure ou extérieure des murs ;
- les ouvertures (parois vitrées, portes, etc.) ;
- les modes de chauffage.

#### Remarque :

**Le diagnostic de performance énergétique ou DPE** est un diagnostic réalisé en France sur des biens immobiliers. Il est un des documents faisant partie du dossier de diagnostics techniques (DDT). La durée de validité de ce DPE a été fixée à dix ans par le décret no 2011-413 du 13 avril 2011.

Le **DPE** doit être présenté lors de la vente ou location des logements et des bâtiments tertiaires (bureaux, hôtel, etc.) depuis le 1er juillet 2007.

Il vise à informer le propriétaire et le locataire de la consommation d'énergie du logement ou du bâtiment tertiaire sur son chauffage, sa climatisation, sa production d'eau chaude sanitaire (ECS), mais pas sur l'électricité spécifique (éclairage, appareils électroménagers, etc.).

# Les déperditions d'énergie dans une habitation

La **performance énergétique** d'un bâtiment correspond à la quantité d'énergie consommée ou estimée dans le cadre d'une utilisation normale du bâtiment. Elle inclut notamment l'énergie utilisée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement (éventuellement), la ventilation et l'éclairage. Plus la quantité d'énergie nécessaire est faible, meilleure est la performance énergétique de l'habitat.

## 1. Puissance théorique à installer

La puissance théorique installée est définie par la relation :  $P = D + (10 \times V_H)$

**P** : puissance (W)

**D** : déperdition (W)

**V<sub>H</sub>** : Volume habitable en m<sup>3</sup>

## 2. Volume habitable

C'est le produit de la **longueur** par la **largeur** et la **hauteur** du bâtiment, il s'exprime en m<sup>3</sup>.

## 3. Déperditions d'énergie

Les déperditions d'énergie sont données par la relation :  $D = G_v \times (\theta_i - \theta_e)$

**G<sub>v</sub>** : coefficient, en W/°C

**θ<sub>i</sub>** : température intérieure °C

**θ<sub>e</sub>** : température extérieure °C

### 3.1 Température intérieure

θ<sub>i</sub> est la température intérieure conforme aux prescriptions des pouvoirs publics (voir publication du CREDOC N°227 mars 2010).

- 22 °C	→	Salle de bains
- 19 °C	→	Salle de séjour
- 18 °C	→	Cuisine, chambre, magasin, WC
- 16 °C	→	Atelier
- 15 °C	→	Hall

### 3.2 Température extérieure

θ<sub>e</sub> est la température minimale quotidienne constatée cinq fois au moins au cours d'une année. Elle est fonction de la **zone climatique**.

Données climatiques : La France est découpée en **trois zones climatiques H1, H2, H3**, voir carte ci-dessous :

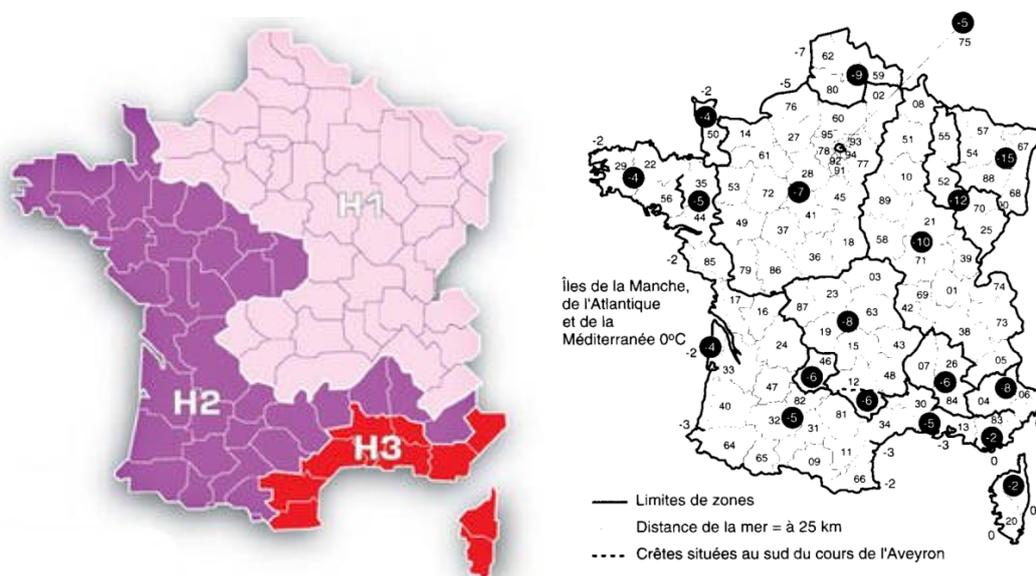


Tableau relatif à la correction de la température extérieure en fonction de l'altitude.

Altitude (m)	Températures extérieures de base (°C) pour des températures de base du niveau de la mer de							
	-4°C	-5°C	-6°C	-8°C	-9°C	-10°C	-12°C	-15°C
0 à 200	-4	-5	-6	-8	-9	-10	-12	-15
201 à 400	-5	-6	-7	-9	-10	-11	-13	-15
401 à 500	-6	-7	-8	-10	-11	-12	-14	-16
501 à 600	-6	-7	-9	-11	-11	-13	-15	-17
601 à 700	-7	-8	-10	-12	-12	-14	-16	-18
701 à 800	-7	-8	-11	-13	-	-15	-17	-19
801 à 900	-8	-9	-12	-14	-	-16	-18	-20
901 à 1 000	-8	-9	-13	-15	-	-17	-19	-21
1 001 à 1 100	-	-10	-14	-16	-	-18	-20	-22
1 101 à 1 200	-	-10	-	-17	-	-19	-21	-23
1 201 à 1 300	-	-11	-	-18	-	-20	-22	-24
1 301 à 1 400	-	-11	-	-19	-	-21	-23	-25
1 401 à 1 500	-	-12	-	-20	-	-22	-24	-25
1 501 à 1 600	-	-12	-	-21	-	-23	-	-
1 601 à 1 700	-	-13	-	-22	-	-24	-	-
1 701 à 1 800	-	-13	-	-23	-	-25	-	-
1 801 à 1 900	-	-14	-	-24	-	-26	-	-
1 901 à 2 000	-	-14	-	-25	-	-27	-	-

### 3.3 Détermination du coefficient GV

Le coefficient « **GV** » exprime les déperditions totales d'un logement pour 1°C de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Il est donné par la relation :  $G_V = D_p + D_R$

**G<sub>V</sub>** : déperditions totales, en W/°C

**D<sub>p</sub>** : déperditions des parois

**D<sub>R</sub>** : déperditions par renouvellement d'air

#### a. Déperditions des parois D<sub>p</sub>

Les déperditions des parois sont données par la relation :  $D_p = K \times S$

**K** : coefficient de transmission surfacique

**S** : surface de la paroi considérée, en m<sup>2</sup>

Un arrêté fixe les valeurs des coefficients K de référence, en fonction des zones H1, H2, H3 et des types de logement :

Surfaces considérées	Maison			Immeuble		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Murs et parois verticales	0,6	0,6	0,6	0,65	0,65	0,75
Vitrages (fenêtres et portes fenêtres)	2,25	2,45	2,45	2,25	2,45	2,45
Portes extérieures	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Toitures et rampants	0,25	0,25	0,25	0,40	0,45	0,50
Planchers bas	0,40	0,40	0,45	0,40	0,45	0,50
Murs et portes sur circulation				0,45	0,45	0,45

**Remarque** : Les valeurs contenues dans le tableau sont des coefficients globaux des parois, ils prennent en compte l'incidence de ponts thermiques.

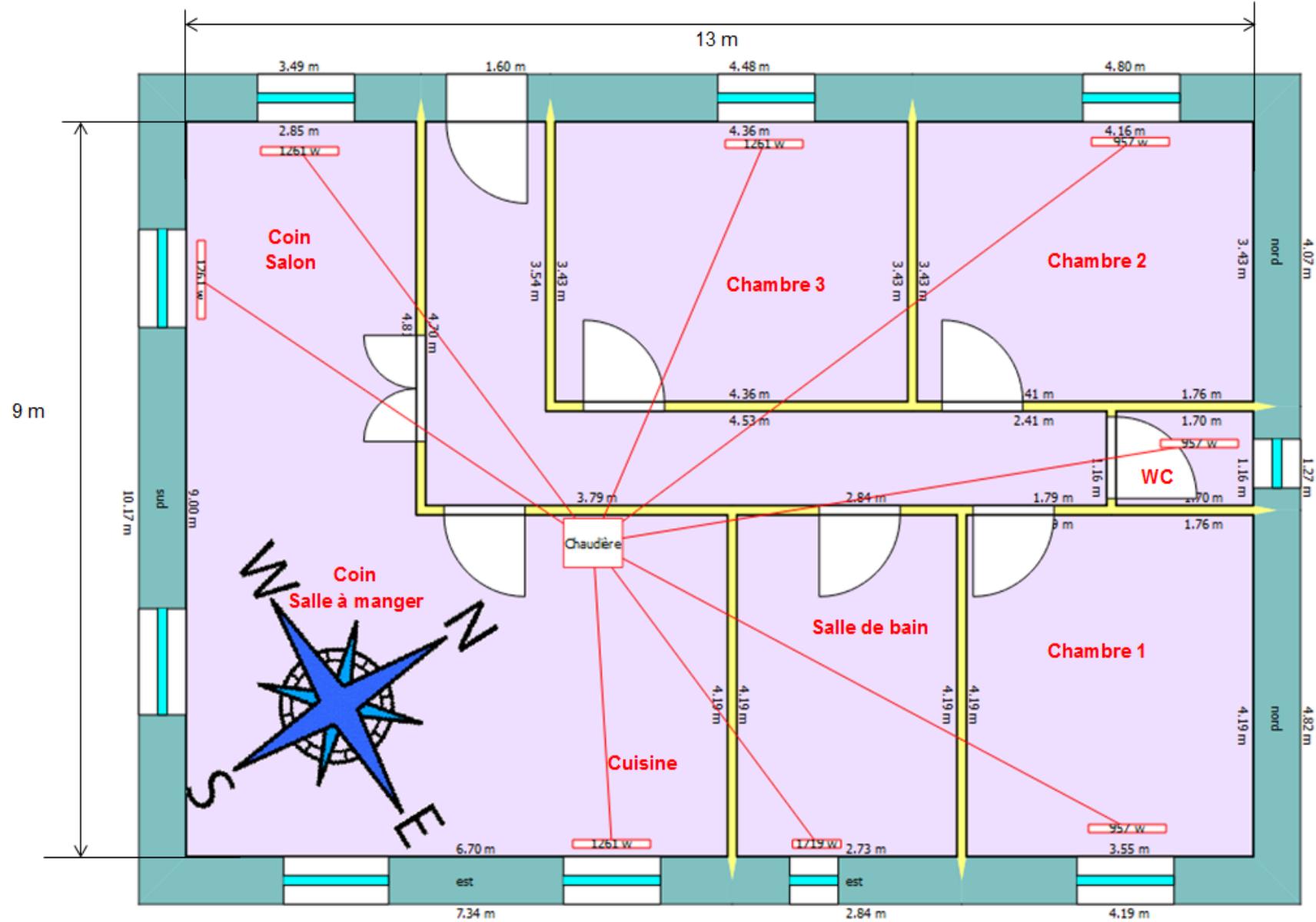
#### b. Déperditions par renouvellement d'air D<sub>R</sub>

Les déperditions par renouvellement d'air d'un logement sont données par la relation :  $D_R = 0,34 \times D$

Avec D (Débit de renouvellement d'air en m<sup>3</sup>/h) donné par le tableau ci-après :

Nombre de pièces principales	1	2	3	4	5	6	7
Débit total extrait (m <sup>3</sup> /h)	35	60	75	90	105	120	135
Débit mini en cuisine (m <sup>3</sup> /h)	20	30	45	45	45	45	45

Exemple de projet réalisé sous Archimist



## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

1/2

### ❶ Les points du programmes – STI2D

#### A. Objectifs et compétences de la spécialité « Architecture et construction »

Objectifs de formation	Compétences attendues
<b>O8 - Valider des solutions techniques</b>	<b>CO8.ac1.</b> Simuler un comportement structurel, thermique et acoustique de tout ou partie d'une construction <b>CO8.ac2.</b> Analyser les résultats issus de simulations ou d'essais de laboratoire

#### B. Extrait programme de la spécialité « Architecture et construction » (extraits)

##### 2. Conception d'un ouvrage

2.1 Solutions technologiques				
Le confort : - thermique ; - acoustique ; - visuel ; - respiratoire.		1 <sup>ère</sup> /T	3	Choisir les matériaux, les éléments de construction, les systèmes actifs ou passifs permettant d'assurer le confort. Limiter les études à la réalisation du synoptique de fonctionnement global des systèmes pour l'habitat individuel et le petit collectif. Le matériel proposé est de type grand public communiquant.
2.3 Modélisations, essais et simulations				
Confort hygrothermique : - caractéristiques et comportements thermiques des matériaux et parois .	*	1 <sup>ère</sup> /T	3	<i>Il s'agit de compléter les éléments des enseignements technologiques communs par des études de dossiers technologiques du domaine de la construction. Le comportement thermique d'une paroi sera traité sur une paroi composite (comportant une partie vitrée). On étudie la spécificité du vitrage vis-à-vis d'un bilan énergétique annuel (thermique, éclairage naturel).</i>

#### A. Objectifs et compétences de la spécialité « Énergie et environnement »

Objectifs de formation	Compétences attendues
<b>O8 - Valider des solutions techniques</b>	<b>CO8.ee1.</b> Renseigner un logiciel de simulation du comportement énergétique avec les caractéristiques du système et les paramètres externes pour un point de fonctionnement donné

#### B. Extrait programme de la spécialité « Énergie et environnement »

##### 2. Conception d'un système

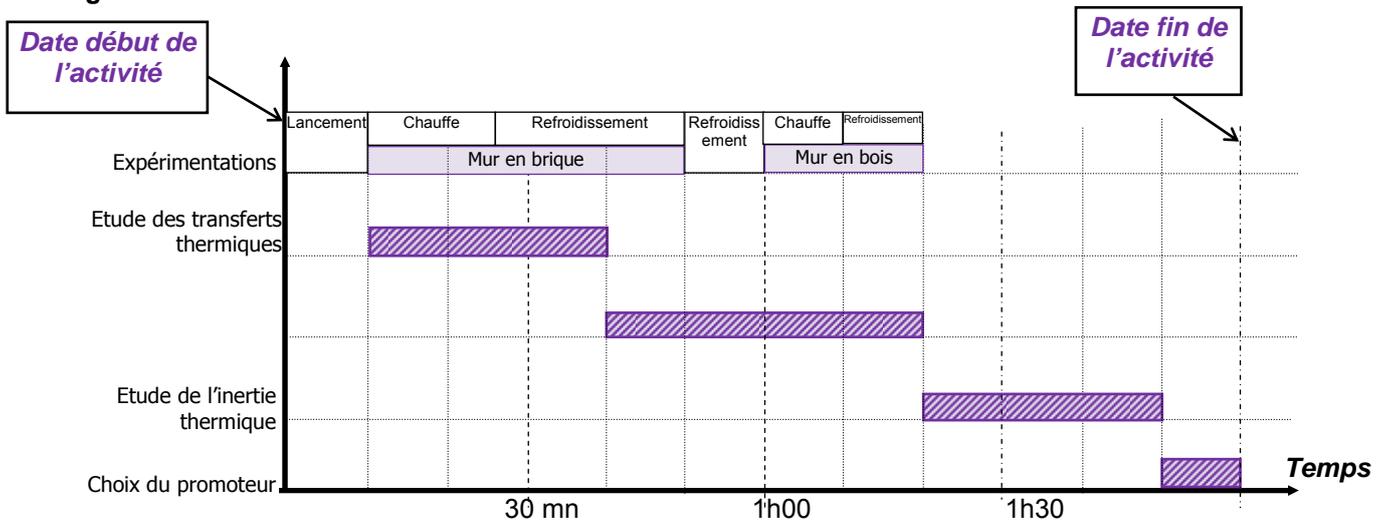
2.3 Paramètre influant la conception				
Efficacité énergétique passive et active d'un système		1 <sup>ère</sup> /T	3	<i>Ce concept a été abordé dans les enseignements technologiques communs. Dans l'enseignement spécifique de la spécialité, il s'agit de proposer des solutions permettant d'améliorer l'efficacité énergétique d'un système.</i>

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

2/2

### La mise en place de la séquence

#### 2.1 Organisation



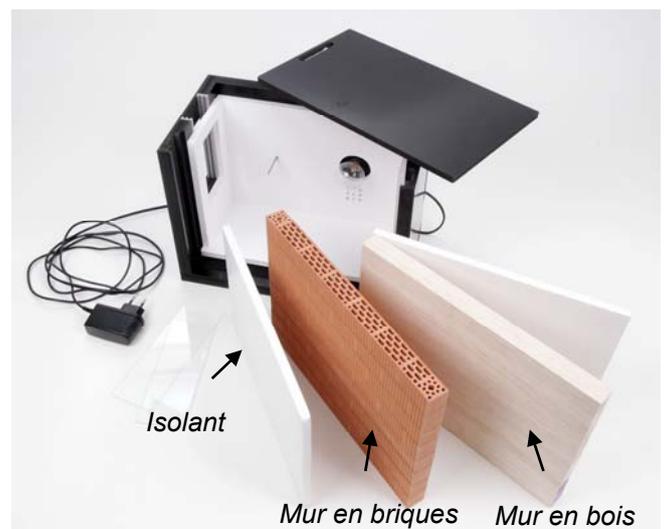
L'activité 2 permet de travailler autour de la problématique suivante :  
**Comment réduire les déperditions énergétiques des murs d'une habitation ?**

Autour de cette problématique les élèves en groupe vont :

- tester et expérimenter l'inertie de deux matériaux de construction (mur en brique et bois) à l'aide du banc d'essai ;
- comparer les caractéristiques de ces deux matériaux et conclure ;
- utiliser un simulateur en ligne pour comparer le confort apporté par différents couches de matériaux de construction et d'isolation ;
- choisir parmi les différentes solutions techniques celle qui permet d'obtenir le meilleur confort énergétique.

Chaque partie de l'activité est suivie d'un moment de synthèse collective.

Les élèves notent en fin d'activité sur leur classeur ou cahier le bilan de l'activité (structuration des connaissances).



L'accent sera mis sur les notions d'inertie et conductivité thermique ainsi que sur l'importance du choix des matériaux.

Des tableaux de synthèse relatifs à la résistance, conductivité, capacité, inertie thermique de différents matériaux de construction pourront compléter cette première étude et le **cours d'enseignement technologique commun (ETC)**.

**Nota** : il est possible de prolonger l'activité en réalisant un mur dans un autre matériau pour tester son inertie thermique.

#### 2.2 Matériel(s) et ressource(s) nécessaire(s)

##### Banc d'essai thermique + système d'acquisition XLlogger

Document ressource N°1 « L'énergie thermique – Fondamentaux Niveau 1 »

Document ressource N°2 « L'énergie thermique – Fondamentaux Niveau 2 »

Documentation ADEME téléchargeable gratuitement « Quels matériaux pour construire et rénover ? »



Sonde XLlogger

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

1/6

### ? Problématique

Une entreprise du bâtiment désire augmenter l'efficacité énergétique de ses constructions (logements collectifs et individuels). Elle souhaite proposer à ses futurs clients des réalisations répondant à différents **labels environnementaux**.

Après un bilan énergétique du modèle d'habitation le plus courant, il apparaît essentiel de rechercher et tester des solutions permettant de limiter les **dépensements énergétiques** à travers un choix adéquat des matériaux de construction.

**Comment réduire les dépenses énergétiques des murs d'une habitation ?**

Les supports de travail : Banc d'essai + Documents ressource N°1 et N°2

### Partie 1 – Expérimenter l'inertie thermique d'un matériau de construction

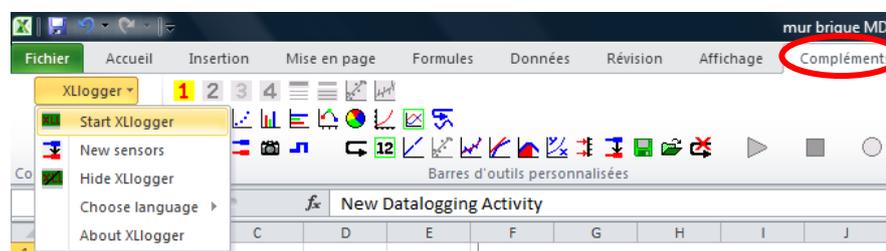
#### A. Mur en brique - Protocole d'expérimentation

##### Étape 1

- ☞ Brancher le banc d'essai thermique et vérifier que la lampe s'allume (cette lampe modélise un radiateur rayonnant d'une puissance de **15 W**).
- ☞ Installer le **mur brique** dans le banc d'essai.
- ☞ Placer le plafond.
- ☞ Démarrer le tableur « Excel » sur le poste informatique.

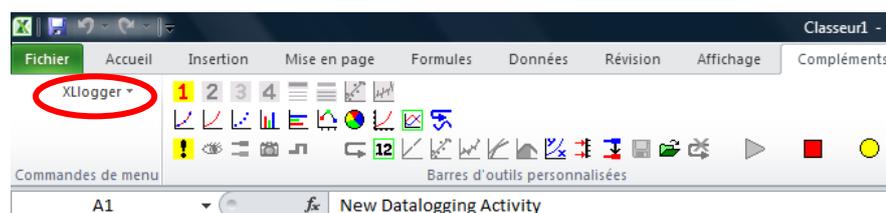


Une application apparaît dans l'onglet **Compléments**, nommée XLogger. Elle permet d'effectuer des mesures de température et de tracer la courbe automatiquement toutes les 0,5 s.



Sélectionner « Start XLogger ».

Brancher la sonde de température à un port USB de votre ordinateur.



Cliquer sur  **Enregistrer automatiquement**. Allumer la lampe simultanément en cliquant sur le triangle vert. Vos mesures commencent.

##### Étape 2

- ☞ Éteindre la lampe dès que la température atteint **26°C**.
- ☞ Attendre que la température redescende en dessous de **22°C**.
- ☞ Stopper l'expérimentation et enregistrer le fichier obtenu.
- ☞ Ouvrir en totalité le banc d'essai thermique et attendre encore 10 mn afin que sa température soit revenue à la température ambiante de départ.

#### B. Mur en bois - Protocole d'expérimentation

- ☞ Effectuer le même protocole pour le mur en bois (**étape 1 et 2**) pour enchaîner deux mesures automatiques de température.



**Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction** **2/6**

**Étape 3**

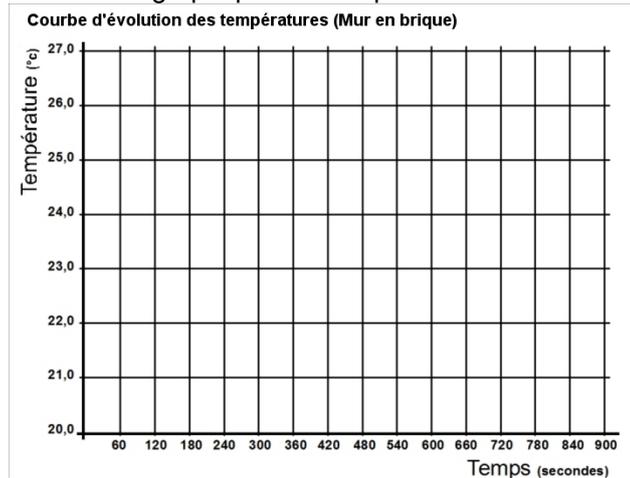
À partir des informations obtenues lors de l'expérimentation sur le banc d'essai avec le **mur en brique**.

1. Reporter dans le tableau ci-dessous les températures en fonction du temps.

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	480	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900

2. Tracer le graphique des températures



3. À partir du graphique, déterminer le temps de montée et de descente de la température avec le **mur en brique**.

Temps de montée à 26 °C : .....

Temps de descente à la température initiale : .....



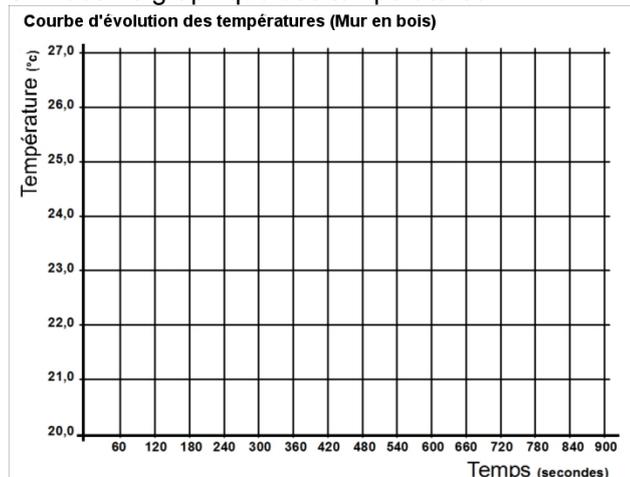
À partir des informations obtenues lors de l'expérimentation sur le banc d'essai avec le **mur en bois**.

4. Reporter dans le tableau ci-dessous les températures en fonction du temps.

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	480	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900

5. Tracer le graphique des températures



6. À partir du graphique, déterminer le temps de montée et de descente de la température avec le **mur en bois**.

Temps de montée à 26 °C : .....

Temps de descente à la température initiale : .....



7. Noter vos conclusions sur l'expérimentation.

.....  
 .....

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

3/6

### Partie 2 – Étudier les transferts thermiques

À partir des Documents ressource N°1 et N°2 :

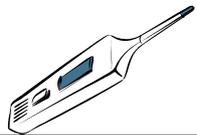
1. Compléter le tableau suivant afin de définir les trois échelles de Relation de la température.

Unité de mesure	Symbole	Relation	$\theta$ d'ébullition de l'eau	$\theta$ de solidification de l'eau
Celsius	C	$C = 0,55 (F - 32)$	100	0
Fahrenheit		$F = 32 + 1,8 C$		
Kelvin		$K = f(C)$ $f(C) = \theta + 273,15$		

2. Noter la relation entre les échelles Kelvin et Celsius.

.....

3. Rechercher et indiquer le ou les modes de transfert thermique des différents instruments de mesure de température définis dans le tableau ci-contre.

Instrument de mesure		Mode de transfert thermique
Thermomètre à contact		.....
Thermomètre d'ambiance		Convection
Thermomètre à distance		.....
Solarimètre		.....

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

4/6

Lors d'expérimentations précédentes, des relevés de température ont été réalisés sur un temps suffisamment long afin de constater un fléchissement de la montée en température (voir courbes ci-dessous).

En considérant que les échanges thermiques entre le banc d'essai et son environnement s'effectuent par conduction et en vous appuyant sur les formules scientifiques du **document ressource N°1** :

4. Exprimer la relation entre la résistance thermique et le flux de chaleur.

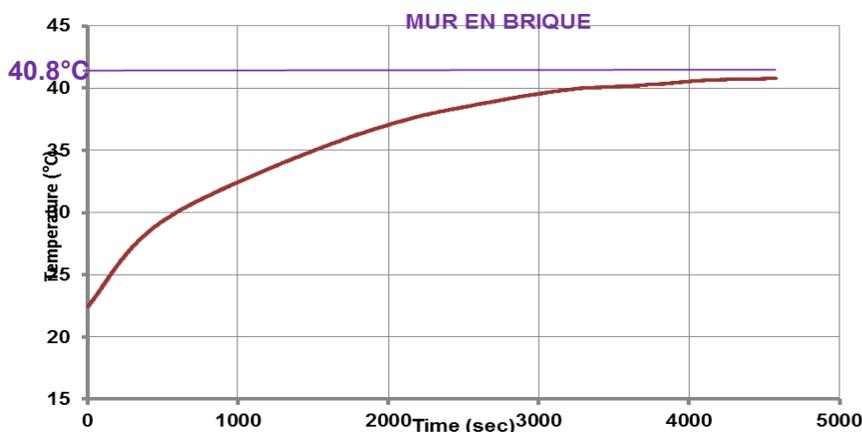
.....

5. Déterminer la relation entre la conductivité  $\lambda$  et la résistance thermique d'une paroi.

.....

Sachant que la surface de transfert thermique du mur du banc d'essai est d'environ  $0.0713 \text{ m}^2$  ( $0,31 * 0,23$ ).

### A. Mur en brique - courbe obtenue



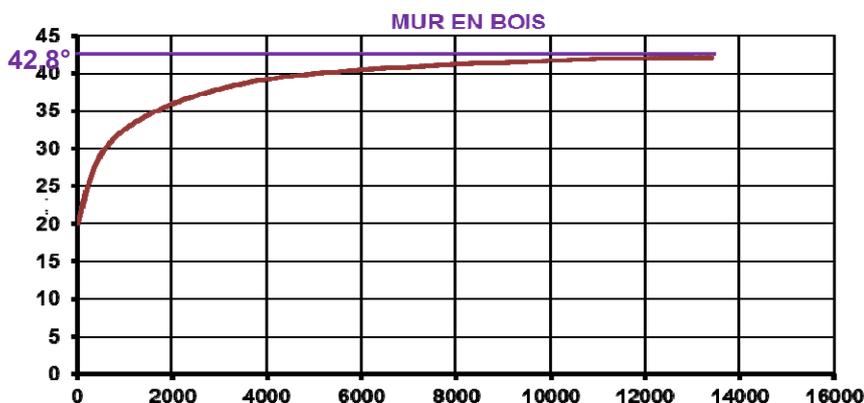
6. Calculer la résistance thermique du mur en brique.

.....

7. Déterminer la conductivité thermique de la brique.

.....

### B. Mur en bois - courbe obtenue



8. Déterminer la résistance thermique du mur en bois.

.....

9. Calculer la conductivité thermique du bois.

.....

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

5/6

### C. Comparaison des résultats

10. Reporter les différents résultats dans le tableau ci-dessous.

Matériaux de construction	Résistance thermique R $m^2.K.W^{-1}$	Conductivité thermique $\lambda$ $W.m^{-1}.K^{-1}$
Brique		
Bois		
Ciment	0.023	1.05

11. Calculer le rapport des résistances thermiques entre les parois en brique creuse et en bois. Conclure.

.....

.....

12. Exprimer dans le tableau ci-après l'évolution des caractéristiques thermiques d'un matériau à fort pouvoir isolant.

	Résistance thermique	Conductivité thermique
Matériau à fort pouvoir isolant		

### Partie 3 – Étudier l'inertie thermique

1. En vous aidant du **document ressource N°2**, expliquer la notion d'inertie thermique.

.....

Nous allons étudier à partir des résultats des deux premières expérimentations (mur en brique et en bois sans isolant), les temps mis pour chauffer ou refroidir la pièce de 25°C à 30°C.

2. Compléter le tableau suivant à partir des courbes obtenues pour chaque matériau (page précédente) :

	Variation de température	Durée pour constater cette variation en s et en mn
Brique	25°C à 30°C	
	30°C à 25°C	
Bois	25°C à 30°C	
	30°C à 25°C	

3. Lorsqu'on éteint la lampe, quel matériau conserve le plus longtemps la chaleur contenue dans le banc d'essai et dans quel rapport ?

4. En vous aidant du **document ressource N°2**, expliquer comment déterminer l'inertie thermique d'un mur.

.....

Sachant que la capacité thermique massique du bois et de la brique sont :

Bois	~1.67
------	-------

Brique	~ 0.92
--------	--------



## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

6/6

5. Déterminer à l'aide d'une balance la masse de chacune des parois et reporter vos résultats dans le tableau ci-dessous. Calculer le coefficient d'inertie thermique.

	Masse de la paroi (Kg)	Capacité thermique massique : C (KJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Coefficient d'inertie thermique : mC (KJ.K <sup>-1</sup> )
Bois			
Brique			

6. Comparer l'inertie thermique du bois et de la brique creuse. Conclure.

.....

.....

7. En été, préciser s'il est préférable d'avoir une maison en brique plutôt qu'en bois.

.....

.....

.....

.....

.....

### Partie 4 – Choisir un matériau de construction

Une entreprise de bâtiment souhaite réaliser des habitations en brique. Après une analyse rapide du marché local, elle hésite entre des briques creuses standards ou à joint mince, des briques à alvéoles ou de pierre ponce.

1. Consulter le site <http://www.ideesmaison.com/Calculettes/Performances-thermiques-des-murs.html>

2. Composer à l'aide de l'application en ligne chaque couche du mur en commençant par la couche du côté extérieur (ligne du haut) pour finir par la couche du côté intérieur.

Pour la 1<sup>ère</sup> couche (extérieure) vous avez 4 choix de matériaux à tester :

- briques creuses standards ;
- briques à joints minces ;
- briques à alvéoles ;
- pierre ponce.

Les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> couches sont imposées

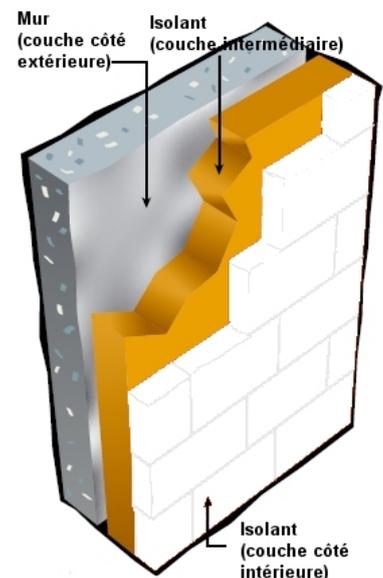
2<sup>ème</sup> couche (intermédiaire) : laine de verre ou roche (panneaux)

3<sup>ème</sup> couche (intérieur) : plaque de plâtres BA10, BA13

3. Cliquer sur le bouton « **Calculez** ».

4. Noter le nom du matériau de construction pour la 1<sup>ère</sup> couche extérieure qui permet d'obtenir un confort ou performance thermique optimale.

.....

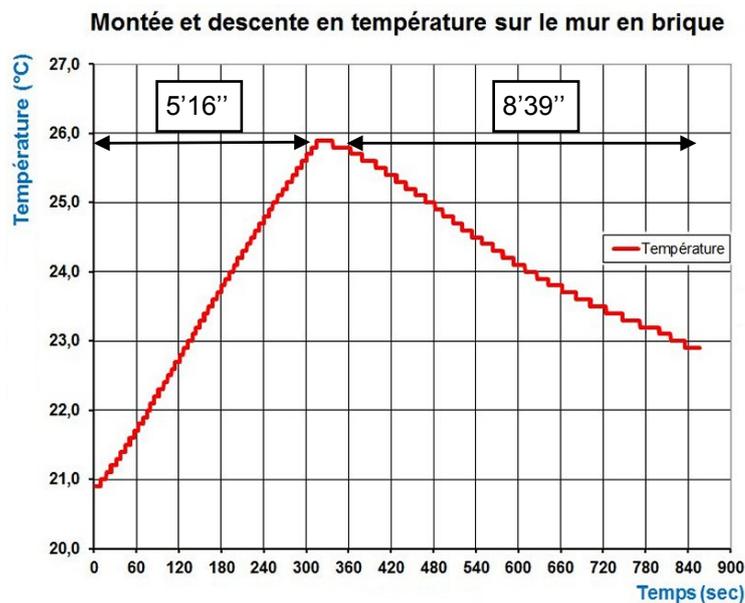


## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

1/6

### Partie 1 – Expérimenter l'inertie thermique d'un matériau de construction

#### A. Résultats mur en brique



CORRIGÉ

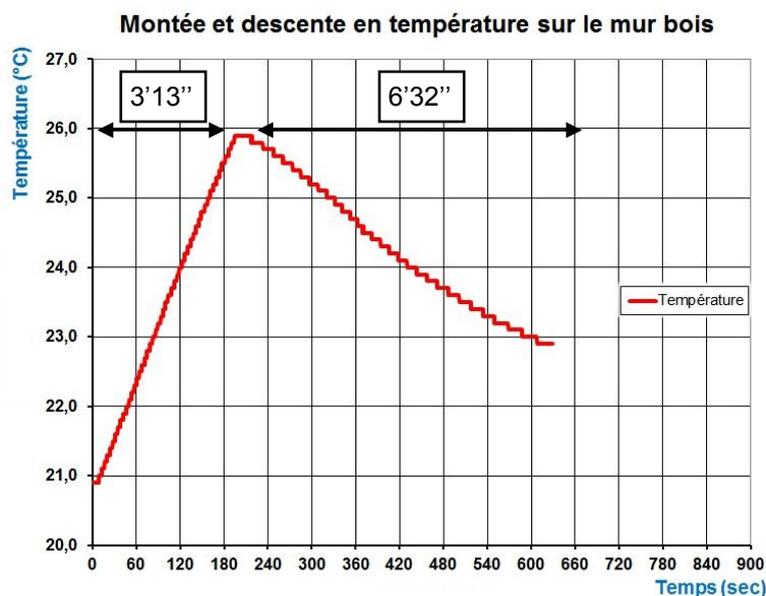


Constat :

Temps montée à 26 °C : ~ 5'16''

Temps descente à la température initiale : ~ 8'39''

#### B. Résultats mur en bois



Constat :

Temps de montée à 26 °C : ~ 3'13''

Temps de descente à la température initiale : ~ 6'32''

#### 7. Noter vos conclusions sur l'expérimentation

Le mur en brique garde plus longtemps la chaleur que le mur en bois. Son inertie thermique est plus grande. La brique est un matériau de construction plus isolant.

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

2/6

### Partie 2 – Étudier les transferts thermiques

CORRIGÉ

À partir du document **ressource N°1 et N°2** :

1. Compléter le tableau suivant afin de définir les trois échelles de relation de la température.

Unité de mesure	Symbole	Relation	$\theta$ d'ébullition de l'eau	$\theta$ de solidification de l'eau
Celsius	C	$C = 0,55 (F - 32)$	100	0
Fahrenheit	F	$F = 32 + 1,8 C$	212	32
Kelvin	K	$K = f(C)$ $(T = \theta + 273,15)$	373.15	273.15

2. Noter la relation entre les échelles Kelvin et Celsius.

$$K = C + 273.5$$

3. Rechercher et indiquer le ou les modes de transfert thermique détectés par les différents instruments de mesure de température présents dans le tableau ci-dessous.

Instrument de mesure		Mode de transfert thermique
Thermomètre à contact		Conduction
Thermomètre d'ambiance		Convection
Thermomètre à distance		Rayonnement
Solarimètre		Rayonnement

4. D'après votre document ressource, exprimer la relation entre la résistance thermique et le flux de chaleur.

$$R = \frac{S \cdot \Delta T}{\phi} = \frac{\text{Surface d'échange} \cdot \text{Différence de température (En l'air) à l'équilibre}}{\text{Flux de chaleur en W}}$$

5. Déterminer la relation entre la conductivité  $\lambda$  et la résistance thermique d'une paroi.

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ donc } \lambda = \frac{e}{R} = \frac{\text{épaisseur du mur}}{\text{résistance thermique}}$$

Sachant que la surface du mur du banc d'essai isolation thermique est  $\sim 0.0712 \text{ m}^2$  ( $0,31 * 0,23$ )

6. Calculer la résistance thermique du mur en brique.

$$R_{th} = \frac{S \cdot \Delta T}{\phi} = \frac{0,0712 \cdot (400 - 20)}{15} = 0.089 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

7. Calculer la conductivité thermique de la brique creuse.

Épaisseur du mur 24 mm = 0.024 m,

$$\lambda = \frac{e}{R} = \frac{0,024}{0,089} = 0.26 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

8. Déterminer la résistance thermique du mur en bois.

$$R_{th} = \frac{S \cdot \Delta T}{\phi} = \frac{0,0712 \cdot (400 - 20)}{15} = 0.108 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

3/6

9. Calculer la conductivité thermique du bois.

$$\lambda = \frac{q}{\Delta T} = \frac{0.0224}{0.109} = 0.22 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

CORRIGÉ

10. Reporter les différents résultats dans le tableau ci-dessous.

Matériaux de construction	Résistance thermique R $\text{m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$	Conductivité thermique $\lambda$ $\text{W}.\text{m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Brique creuse	0.089	0.26
Bois	0.108	0.22
Ciment	0.023	1.05

11. Calculer le rapport des résistances thermiques entre les parois en parpaing creux et en bois. Conclure.

$$\text{Rapport (RTH Parpaing / RTH Bois)} = 0.108 / 0.023 = \sim 4,70$$

12. Exprimer dans le tableau ci-après l'évolution des caractéristiques thermiques d'un matériau à fort pouvoir isolant.

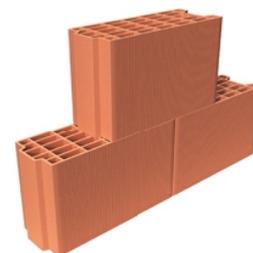
	Résistance thermique	Conductivité thermique
Matériau à fort pouvoir isolant	Forte	Faible

### Partie 3 – Étudier l'inertie thermique

1. En vous aidant du **dossier ressource N°2**, expliquer la notion d'inertie thermique.

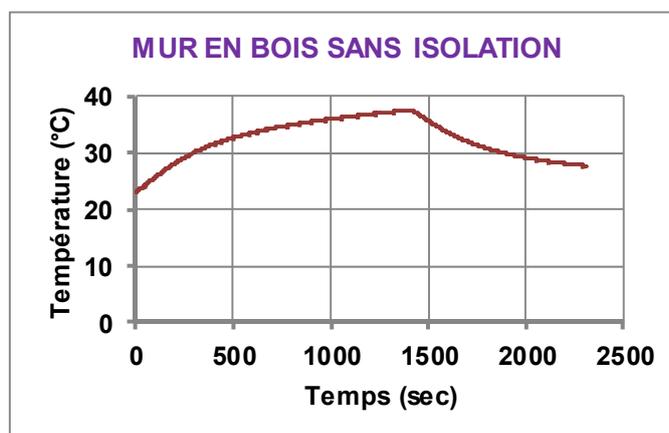
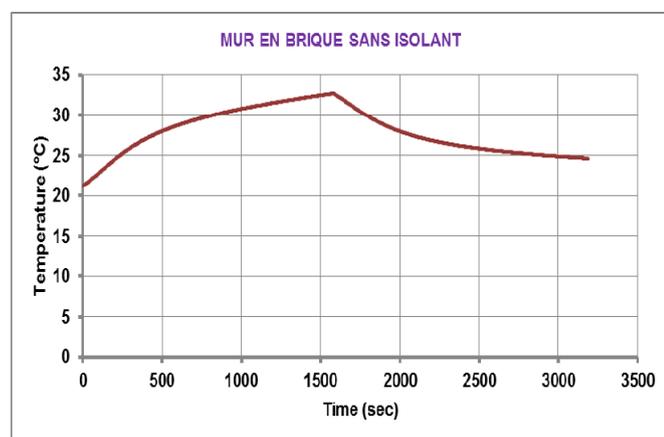
C'est la capacité d'un corps à stocker et à déstocker de la chaleur.

2. Compléter le tableau suivant à partir des résultats obtenus dans le fichier « Excel » :



	Variation de température	Durée pour constater cette variation en s et en mn
Brique	25°C à 30°C	~ 600 s = 10 min
	30°C à 25°C	~ 1200 s = 20 min
Bois	25°C à 30°C	~ 240 s = 4 min
	30°C à 25°C	~ 320 s = 5 min et 20 s

### Résultats



## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

4/6

3. Lorsqu'on éteint la lampe, quel matériau conserve le plus longtemps la chaleur contenue dans le banc d'essai et dans quel rapport ?

La brique conserve plus longtemps la chaleur. (Le bois accumule peu la chaleur ou la fraîcheur).  
La pièce avec le mur en brique met 3 fois plus de temps pour refroidir de 30 à 25 degrés qu'avec le mur en bois.

4. En vous aidant de votre dossier ressource, expliquer comment déterminer l'inertie thermique d'un mur.

Inertie thermique =  $m \cdot C$  avec  $M$  : masse de la paroi en Kg et  $C$  capacité thermique massique en  $\text{KJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Sachant que la capacité thermique massique du bois et de la brique est respectivement :

Bois	~1.67
------	-------

Brique	~ 0.92
--------	--------

CORRIGÉ

5. Déterminez à l'aide d'une balance la masse de chacune des parois et reporter vos résultats dans le tableau ci-dessous.

	Masse de la paroi (Kg)	Capacité thermique massique : $C$ ( $\text{KJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	Coefficient d'inertie thermique : $mC$ ( $\text{KJ.K}^{-1}$ )
Bois	0.768	1.67	~ 1.28
Brique	1.593	0.92	~ 1.46

6. Comparer l'inertie thermique du bois et de la brique et conclure.

L'inertie thermique du bois est inférieure à celui de la brique. La masse volumique du bois est beaucoup plus faible que celle de la brique. Le bois ne peut stocker la chaleur.

7. En été, préciser s'il est préférable d'avoir une maison en brique plutôt qu'en bois.

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à stocker de la chaleur dans ses murs, ses planchers, etc. Plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement. Plus les murs sont épais et les matériaux lourds (béton, pierre, brique pleine, terre crue, etc.), plus l'inertie est grande.

Une maison en brique offre une grande inertie. C'est un atout pour le confort d'été de jour, en l'absence de climatisation : elle amortit les pics de surchauffe. Une bonne ventilation la nuit devra permettre d'évacuer la chaleur accumulée pendant la journée.

### Nota :

Une bonne isolation d'hiver ne garantit pas une maison confortable l'été.

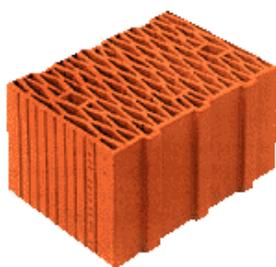
En France, la plupart des logements sont isolés par l'intérieur, ce qui empêche de profiter de l'inertie des murs.

Pour que l'isolation joue un rôle favorable dans le confort d'été, les solutions les plus appropriées sont :

- l'isolation par l'extérieur (« mur-manteau »). Technologie souvent pratiquée chez nos voisins européens, elle existe très peu en France car elle est efficace à la fois en été et en hiver (suppression des points de moindre résistance thermique du bâtiment, appelés également ponts thermiques).

- l'isolation répartie, intégrée au mur lui-même, en utilisant des matériaux particuliers.

La brique à alvéoles multiples est un exemple de matériau à isolation répartie



Source : <http://www.ecocitoyens.ademe.fr/>

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

5/6

### Partie 4 – Choisir un matériau de construction

1. Consulter le site <http://www.ideesmaison.com/Calculettes/Performances-thermiques-des-murs.html>
2. Composer à l'aide de cette application en ligne chaque couche du mur en commençant par la couche du côté extérieur (ligne du haut) pour finir par la couche du côté intérieur.

Pour la 1<sup>ère</sup> couche (extérieure) vous avez 4 choix de matériaux à tester :

- briques creuses standards ;
- briques à joints minces ;
- briques à alvéoles ;
- pierre ponce.

CORRIGÉ

### Les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> couches sont imposées

2<sup>ème</sup> couche (intermédiaire) : laine de verre ou roche (panneaux)

3<sup>ème</sup> couche (intérieur) : plaque de plâtres BA10, BA13

### Composition du mur

couche du mur				
brique à alvéoles				
épaisseur (cm) :	masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) :	chaleur spécifique (Wh/kg.K) :	conductivité thermique lambda (W/m.K) :	description :
<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="850"/>	<input type="text" value="0.25"/>	<input type="text" value="0.149"/>	brique à alvéol
couche du mur				
laine verre ou roche (panneaux)				
épaisseur (cm) :	masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) :	chaleur spécifique (Wh/kg.K) :	conductivité thermique lambda (W/m.K) :	description :
<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="90"/>	<input type="text" value="0.24"/>	<input type="text" value="0.04"/>	laine verre ou
couche du mur				
plaque de plâtre BA10, BA13				
épaisseur (cm) :	masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) :	chaleur spécifique (Wh/kg.K) :	conductivité thermique lambda (W/m.K) :	description :
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="790"/>	<input type="text" value="0.22"/>	<input type="text" value="0.33"/>	plaque de plâ
couche du mur				
choisir				
épaisseur (cm) :	masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) :	chaleur spécifique (Wh/kg.K) :	conductivité thermique lambda (W/m.K) :	description :
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
				<input type="button" value="Calculez"/>

## Activité 2 - Isolation thermique des matériaux de construction

6/6

Le meilleur résultat est obtenu en choisissant « briques à alvéoles » pour la couche du côté extérieur

CORRIGÉ

	Extérieur		Intérieur	Total
Description	brique à alvéoles	laine verre ou roche (panneaux)	plaque de plâtre BA10, BA13	
Epaisseur cm	30	8	1	39
Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	850	90	790	
Chaleur spécifique Wh/kg.K	0.25	0.24	0.22	
Conductivité thermique lambda W/m.K	0.149	0.04	0.33	
Malus pose	0			
Malus Pont				
Résistance thermique m <sup>2</sup> .K/W	1.61	2	0.03	3.64
Capacité thermique surfacique Wh/m <sup>2</sup> .K	N/A	1.73	1.74	3.47
Temps de transfert heures	15.63	2.57	0.32	18.52

### Resultat

	Confort hiver	Confort 1/2 saison	Confort été
Résultat :	20	14	16

3. Noter le nom du matériau de construction pour la 1<sup>ère</sup> couche extérieure qui permet d'obtenir un confort ou performance thermique optimale.

En choisissant **brique à alvéoles** pour la 1<sup>ère</sup> couche extérieure, (laine verre ou roche (panneaux) et plaque de plâtre BA10, BA13 pour les autres couches du mur) on obtient un résultat de confort thermique très élevé.

# L'énergie thermique – Fondamentaux (Niveau 2)

## 1. Notion de chaleur

La quantité de chaleur échangée par un système est évaluée en mesurant la variation de température, et en connaissant les caractéristiques thermiques du milieu.

Ce transfert d'énergie est exprimé en joules (J).

**Rappel** : 1 calorie (énergie pour élever 1 gramme d'eau de 1 degré)  $\approx$  4,2 Joules

## 2. Transfert thermique

C'est un déplacement d'énergie thermique d'un point à un autre.

Elle se déplace naturellement du milieu le plus chaud vers le milieu le moins chaud pour tendre vers un équilibre naturel des températures.

## 3. Les modes de transfert thermique

### La convection

La chaleur se propage à l'intérieur de la matière (un même corps solide ou un même fluide liquide ou gazeux), de particules en particules. Il se produit dans un fluide en mouvement.

*Exemple* : l'air chaud, moins dense, monte, transportant la chaleur du bas vers le haut.

La convection peut être **naturelle** ou **forcée** (accélération artificielle du fluide (turbine, pompe ...)).

### La conduction

La conduction thermique est le phénomène par lequel la température d'un milieu s'homogénéise. Il correspond à la transmission de l'agitation thermique entre molécules et se produit dans un solide, un liquide ou un gaz.

*Exemple* : la température d'un barreau chauffé à une extrémité a tendance à s'uniformiser par conduction thermique.

### Le rayonnement

C'est un transfert d'un corps à un autre par ondes électromagnétiques donc sans contact. Il peut se produire dans tous les milieux, vide y compris. *Exemple* : la Terre est chauffée par le rayonnement du soleil.

## 4. Caractéristiques thermiques statiques

**Conductivité thermique** :  $\lambda$  ( $\text{J.m}^{-1}.\text{K}^{-1}.\text{s}^{-1}$  ou  $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

La conductivité thermique d'un matériau désigne sa capacité à transmettre la chaleur, par conduction.

**Résistance thermique** :  $R_{th}$  ( $\text{K.W}^{-1}$ )

La résistance thermique par conduction exprime la capacité d'un matériau à résister au passage d'un flux de chaleur. *Plus la résistance thermique est élevée, moins le flux de chaleur peut facilement traverser le mur.*

Les échanges par conduction permettent de quantifier la résistance thermique  $R_{th}$  ( $\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$ ) et la **conductivité thermique**  $\lambda$  ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$$R_{th} = \frac{e \cdot \Delta T}{\varphi \cdot S}$$

avec  $\Delta T$  = Différence de température (entre l'extérieur et l'intérieur)

$\varphi$  = Flux de chaleur en W

$e$  = épaisseur du matériau en m

$S$  = Surface d'échange en  $\text{m}^2$

**Coefficient de transmission surfacique** :  $U$  ( $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ )

Il représente le flux de chaleur à travers  $1\text{m}^2$  de paroi pour une différence de température de  $1^\circ\text{C}$  entre les deux environnements séparés par la paroi. *C'est l'inverse de  $R_{th}$ . Plus  $U$  est faible, plus la paroi est isolante.*

**Capacité thermique massique** :  $C$  ( $\text{KJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

C'est la quantité d'énergie à apporter à un corps pour provoquer une élévation de sa température de un kelvin (ou un degré Celsius), et sans changement d'état du système. Elle dépend du matériau.

*Plus  $C$  est grand, plus il faut d'énergie pour élever la température.*

Matériau	$C$ ( $\text{KJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
Air	$\approx 1$
Eau	$\approx 4,2$
Brique	$\approx 0,92$
Laine de verre	$\approx 0,85$
Bois sec	$\approx 1,67$

## 5. Caractéristiques thermiques dynamiques

### Effusivité thermique : E (J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

Elle représente la rapidité avec laquelle la température superficielle d'un matériau se réchauffe. Plus le coefficient E est bas, plus le matériau se réchauffe vite.

### Diffusivité thermique : Df

C'est la capacité d'un matériau à transmettre une variation de température donc la vitesse à laquelle la chaleur se propage par conduction dans un corps. Elle s'exprime en m<sup>2</sup>/heure. Plus la valeur de la diffusivité thermique est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau. On parle également de déphasage. (Un déphasage de 10 à 12h permet d'atténuer les différences de température entre le jour et la nuit).

### Constante de temps : τ

C'est la durée nécessaire à une paroi pour passer d'un état stable à un autre sous l'effet d'une variation de température. Elle caractérise l'inertie thermique.

Plus le matériau est épais, plus la diffusivité thermique est faible, plus grande sera la constante de temps.

## 6. L'inertie thermique

L'inertie thermique c'est la capacité d'un corps à stocker et à déstocker de la chaleur. Elle caractérise la capacité d'un matériau à s'opposer aux variations de température. L'inertie thermique contribue au confort de l'habitation en atténuant les variations des pointes de températures.

- En hiver, une forte inertie permet d'emmagasiner la chaleur de la journée due aux apports solaires puis de la restituer plus tard lorsque la température extérieure commence à chuter.
- En été, une forte inertie liée à une ventilation nocturne permet d'atténuer les surchauffes durant la journée.

L'inertie thermique est caractérisée par :

Avec :  $\Delta T$  la variation de température mesurée

- m : masse du système (m)
- C : Capacité thermique massique (C)

$$\Delta T = \frac{Q_{\text{sensible}}}{m \times C} \quad Q_{\text{sensible}} = m \times C \times \Delta T$$

On quantifie l'inertie thermique essentiellement par la diffusivité thermique D du matériau, l'épaisseur e du matériau considéré et l'effusivité thermique.

## 7. Le confort thermique

Le confort thermique consiste à avoir ni trop chaud, ni trop froid dans la maison. Il dépend :

- de chaque individu et de son activité dans le logement ;
- de la température de l'air mais aussi de la température des surfaces environnantes et donc des matériaux ;
- du taux d'humidité ambiant ;
- de la vitesse de circulation de l'air.

## 8. Les ponts thermiques

C'est une diminution localisée de la résistance thermique d'un local ou l'augmentation ponctuelle du flux thermique. En cause, la discontinuité entre les matériaux et les parois de la structure (Changement local d'épaisseur, jonctions entre façades et planchers,...).

Dans un bâtiment non isolé, les ponts thermiques représentent de faibles déperditions car les déperditions totales par les parois sont très fortes (de l'ordre de >1W/m<sup>2</sup>K).

En revanche, dès lors que les parois sont fortement isolées, le pourcentage de déperditions dûs aux ponts thermiques devient important mais les déperditions globales sont très faibles (inférieures à 0,3 W/m<sup>2</sup>K).

## 9. Les pertes thermiques dans l'habitat

	Habitation individuelle non isolée	Habitation individuelle isolée selon la norme RT 2005
<b>Toit</b>	25 à 30%	10%
<b>Murs</b>	20 à 25%	20%
<b>Renouvellement d'air</b>	20 à 25%	15%
<b>Fenêtre et portes extérieures</b>	10 à 15%	15%
<b>Plancher</b>	7 à 10%	20%
<b>Ponts thermiques</b>	5 à 10%	20%

## Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 1/2

### ❶ Les points du programmes – STI2D

#### A. Objectifs et compétences de la spécialité « Architecture et construction »

Objectifs de formation	Compétences attendues
O8 - Valider des solutions techniques	CO8.ac2. Analyser les résultats issus de simulations ou d'essais de laboratoire CO8.ac3. Analyser/valider les choix structurels et de confort

#### B. Extrait programme de la spécialité « Architecture et construction » (extraits)

##### 2. Conception d'un ouvrage

2.1 Solutions technologiques				
Le confort : - thermique ; - acoustique ; - visuel ; - respiratoire.		1 <sup>ère</sup> /T	3	Choisir les matériaux, les éléments de construction, les systèmes actifs ou passifs permettant d'assurer le confort. Limiter les études à la réalisation du synoptique de fonctionnement global des systèmes pour l'habitat individuel et le petit collectif. Le matériel proposé est de type grand public communicant.
2.3 Modélisations, essais et simulations				
Confort hygrothermique : - caractéristiques et comportements thermiques des matériaux et parois.	*	1 <sup>ère</sup> /T	3	<i>Il s'agit de compléter les éléments des enseignements technologiques communs par des études de dossiers technologiques du domaine de la construction. Le comportement thermique d'une paroi sera traité sur une paroi composite (comportant une partie vitrée). On étudie la spécificité du vitrage vis-à-vis d'un bilan énergétique annuel (thermique, éclairage naturel).</i>

#### A. Objectifs et compétences de la spécialité « Énergie et environnement »

Objectifs de formation	Compétences attendues
O8 - Valider des solutions techniques	CO8.ee2. Interpréter les résultats d'une simulation afin de valider une solution ou l'optimiser CO8.ee3. Comparer et interpréter le résultat d'une simulation d'un comportement d'un système avec un comportement réel

#### B. Extrait programme de la spécialité « Énergie et environnement »

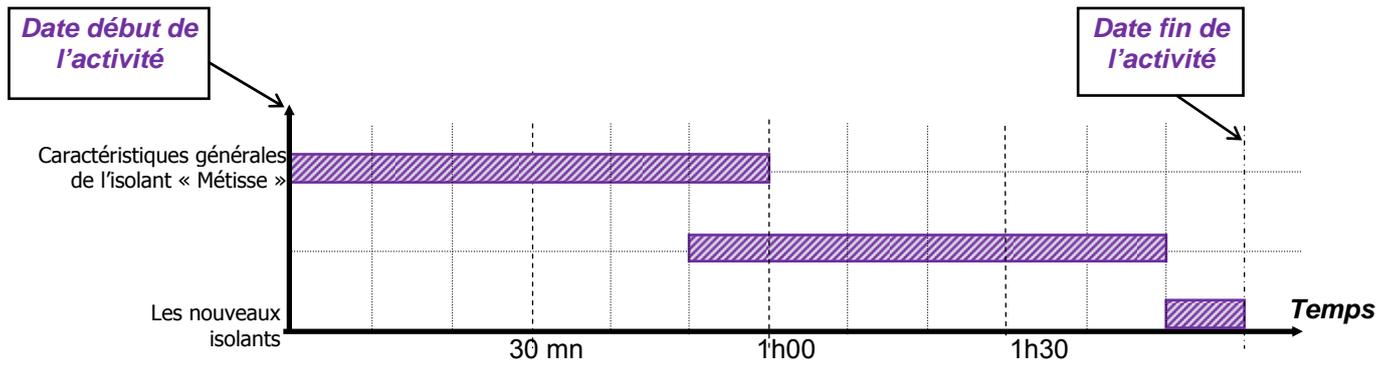
##### 2. Conception d'un système

2.3 Paramètre influant la conception				
Efficacité énergétique passive et active d'un système		1 <sup>ère</sup> /T	3	<i>Ce concept a été abordé dans les enseignements technologiques communs. Dans l'enseignement spécifique de la spécialité, il s'agit de proposer des solutions permettant d'améliorer l'efficacité énergétique d'un système.</i>

## Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 2/2

### La mise en place de la séquence

#### 2.1 Organisation



L'activité 3 permet de travailler autour de la problématique suivante :  
**Comment améliorer l'efficacité énergétique du chauffage dans l'habitat ?**

Autour de cette problématique les élèves en groupe vont :

- expérimenter l'inertie thermique d'un isolant selon sa position par rapport à un mur ;
- étudier les spécificités techniques d'un isolant « **développement durable** » ;
- caractériser un isolant thermique ;
- repérer et détecter les **ponts thermiques** (à l'aide d'une caméra thermique).

Chaque partie de l'activité est suivie d'un moment de synthèse. Les élèves notent sur leur classeur ou cahier, le bilan de l'activité.

L'accent sera mis sur la nécessité d'isoler les habitations pour que l'efficacité énergétique du chauffage soit maximum.

#### 2.2 Matériel nécessaire

Banc d'essai thermique + système d'acquisition XLlogger + caméra thermique + document ressource N°3 et N°3 bis + Document téléchargeable gratuitement « Isolant Métisse Dossier technique.pdf » sur <http://www.lerelais.org>

#### 2.3 Compléments

##### A. Schéma du développement durable

Ce schéma du développement durable est une approche globale à la confluence de trois préoccupations, dites des « trois piliers du développement durable ».



##### B. Polystyrène expansé (PSE) – Matériau isolant

Le banc d'essai isolation thermique est accompagné de deux parois isolantes en **polystyrène expansé**.

Formé à partir de pétrole brut, le **polystyrène expansé (PSE)** renferme une multitude de billes liées par compression lors du moulage et qui emprisonnent l'air sec immobile. Cela assure une grande légèreté au matériau (entre 10 et 30 kg/m<sup>3</sup>), des **performances thermiques et phoniques** ainsi qu'une résistance mécanique élevée. Fragile face au feu, le polystyrène expansé nécessite cependant l'association d'un matériau incombustible tel que le plâtre pour les constructions. Il est recommandé sur des surfaces régulières, par exemple pour l'isolation des toitures, murs (par l'intérieur et l'extérieur) et sols.

##### Performance thermique et phonique

**Les performances thermiques** du polystyrène expansé sont bonnes, avec une conductivité thermique très faible (entre **0,029 et 0,038 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>**). Il est en outre moins dense que le polystyrène extrudé.

En revanche, son efficacité phonique est plus médiocre. Pour y remédier, les fabricants ont mis au point des polystyrènes argentés plastifiés (PSE dB, PSE Ultra ThA) offrant des performances améliorées à ce niveau.

## Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 1/6

### ? Problématique

Une entreprise du bâtiment désire augmenter l'efficacité énergétique de ses constructions. Elle souhaite proposer à ses futurs clients des réalisations les plus confortables possibles et répondant à différents **labels environnementaux**. Après un bilan énergétique du modèle d'habitation le plus courant, il apparaît primordial de rechercher des solutions techniques permettant de limiter les déperditions énergétiques de la construction à travers un choix adéquat de **matériaux isolants** pour les murs extérieurs ou intérieurs.

**Comment limiter les déperditions énergétiques à l'intérieur ou à l'extérieur d'une maison ?**

**Les supports de travail :** Banc d'essai isolation thermique + système XLogger + **Document ressource N°3 et N°3 bis** + caméra thermique.

### Partie 1 – Expérimenter l'inertie thermique d'un isolant selon sa position par rapport à un mur

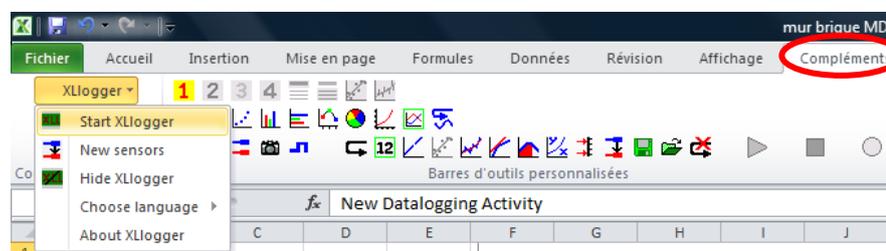
#### A. Mur en brique et isolant intérieur - Protocole d'expérimentation

##### Étape 1

- ☞ Brancher le banc d'essai thermique et vérifier que la lampe s'allume (cette lampe modélise un radiateur d'une puissance de **15 W**).
- ☞ Installer le **mur brique** dans le banc d'essai et la mousse en polystyrène expansé (épaisseur : 10 mm) ou l'isolant « Métisse® » (épaisseur : 8 mm) à l'intérieur du banc.
- ☞ Placer le plafond.
- ☞ Lancer le tableur-grapheur « Excel » sur le poste informatique.

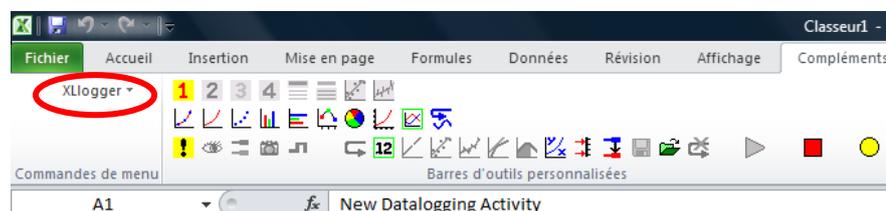
Une application apparaît dans l'onglet « **compléments** », nommée XLogger.

Elle permet d'effectuer des mesures de température et de tracer la courbe automatiquement toutes les 0,5s.



Sélectionner « Start XLogger ».

Brancher la sonde de température à un port USB de votre ordinateur.



Cliquer sur  **Enregistrer automatiquement**. Allumer la lampe simultanément en cliquant sur le triangle vert. Vos mesures commencent.

##### Étape 2

- ☞ Éteindre la lampe dès que la température atteint **26°C**.
- ☞ Attendre que la température redescende en dessous de **22°C**.
- ☞ Stopper l'expérimentation et enregistrer le fichier obtenu.
- ☞ Ouvrir en totalité le banc d'essai thermique et attendre encore 10 mn afin que sa température soit revenue à la température ambiante de départ.

#### B. Mur en brique et isolant extérieur - Protocole d'expérimentation

- ☞ Effectuer le même protocole pour le mur en brique avec l'isolant en mousse carton (épaisseur : 10 mm) ou l'isolant « Métisse® » (épaisseur : 8 mm) (**étape 1 et 2**).

**Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 2/6**

**Étape 3**

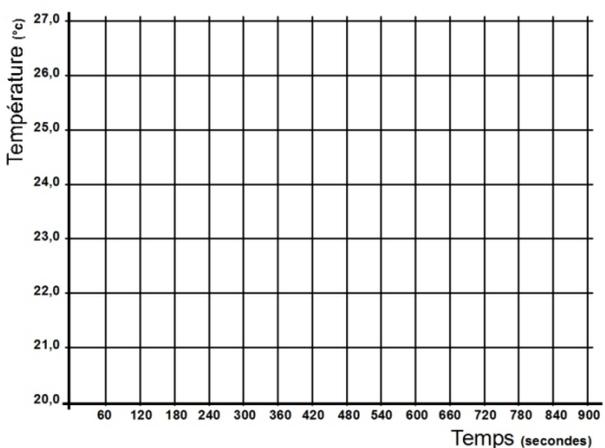
1. Reporter les températures obtenues lors de l'expérimentation sur le banc d'essai avec le **mur en brique et l'isolant à l'intérieur**.

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	480	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900

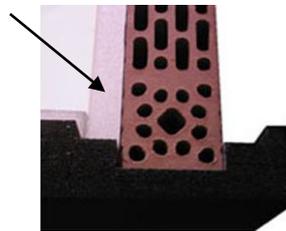
2. Tracer le graphique des températures

Courbe d'évolution des températures (Mur en brique + isolation intérieure)



3. À partir du graphique, déterminer le temps de montée et descente de la température **avec le mur en brique et l'isolant à l'intérieur**.

Montée à 26°C : .....  
 Descente à la température initiale : .....



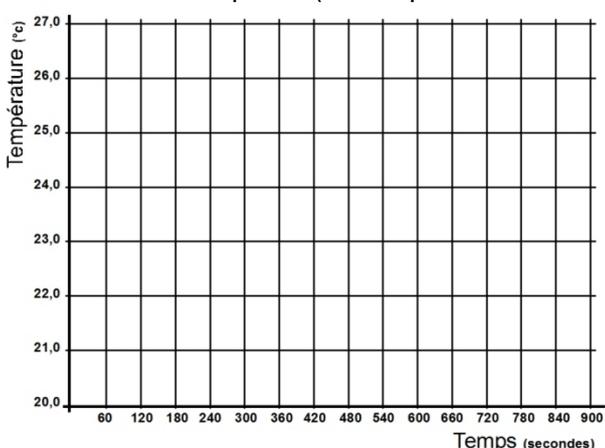
4. Reporter les températures obtenues lors de l'expérimentation sur le banc d'essai avec le **mur en brique et l'isolant à l'extérieur**.

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	480	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900

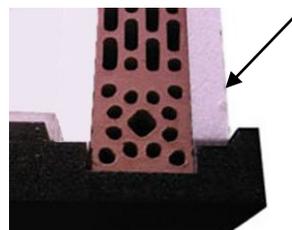
5. Tracer le graphique des températures

Courbe d'évolution des températures (Mur en brique + isolation extérieure)



6. À partir du graphique, déterminer le temps de montée et descente de la température **avec le mur en brique et l'isolant à l'extérieur**.

Montée à 26°C : .....  
 Descente à la température initiale : .....



7. Noter vos conclusions sur l'expérimentation.

.....

.....

.....

**Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 3/6**

**Partie 2** – Étudier les spécificités techniques d'un isolant « développement durable

À partir du document ressource N°3 :

1. Préciser la composition de l'isolant Métisse®.

.....

2. Expliquer succinctement les 3 étapes de la fabrication de l'isolant Métisse®.



Étape 1

.....  
 .....

Étape 2

.....  
 .....



Étape 3

.....  
 .....

3. Donner l'unité fonctionnelle du bilan environnemental.

.....  
 .....

4. Quelle est la durée de vie typique de l'isolant Métisse® ?

.....

5. Sachant que les déchets éliminés représentent 59 g par an, déterminer le rapport entre déchets valorisés et éliminés.

.....  
 .....

6. Citer les caractéristiques de fabrication de l'isolant Métisse® remplissant le « pilier écologique » du développement durable.

.....  
 .....



7. Repérer les caractéristiques de fabrication de l'isolant Métisse® remplissant le « pilier social » du développement durable.

.....  
 .....

## Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 4/6

### Partie 3 – Caractériser un isolant thermique

Les échanges thermiques entre le banc d'essai et son environnement s'effectuent par **conduction**.

1. En vous aidant du **document ressource N°3**, exprimer la relation entre la résistance thermique et le flux de chaleur.

.....

.....

2. Expliquer comment déterminer la constante de temps de la paroi.

.....

.....

.....

3. Déterminer la surface de la paroi servant d'isolant.

.....

4. À partir de l'exploitation des courbes précédentes, compléter le tableau ci-dessous en détaillant vos calculs.

Matière	Résistance thermique $R_{th}$ ( $m^2.K.W^{-1}$ )	Constante de temps (en s et min)
Brique	.....	.....
Brique isolée à l'intérieur	.....	.....
Brique isolée à l'extérieur	.....	.....

5. Conclure quant à l'intérêt de l'emploi d'un isolant à l'extérieur de la brique du banc d'essai et de son positionnement au regard de la résistance thermique.

.....

.....

.....

6. Donner l'expression littérale de la résistance thermique d'une paroi multicouche composée d'un mur et d'isolant à l'intérieur ou à l'extérieur.

.....

7. Les résultats expérimentaux confirment-ils la théorie ? Rechercher les éventuelles causes de différence.

.....

8. Comment évolue la constante de temps en fonction de l'emploi et de la position de l'isolant ?

.....

.....

.....

.....



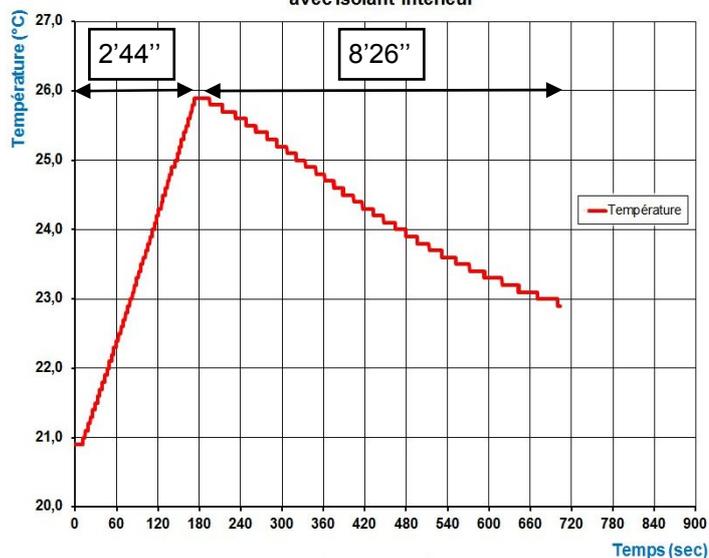


## Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 1/4

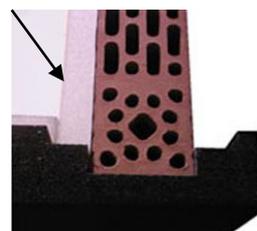
### Partie 1 – Expérimenter l'inertie thermique d'un isolant selon sa position par rapport à un mur

#### A. Résultats mur en brique et isolant intérieur

Montée et descente en température sur mur brique  
avec isolant intérieur



**CORRIGÉ**



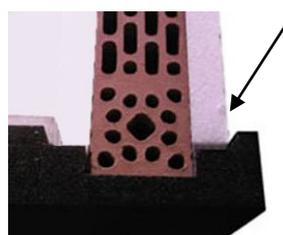
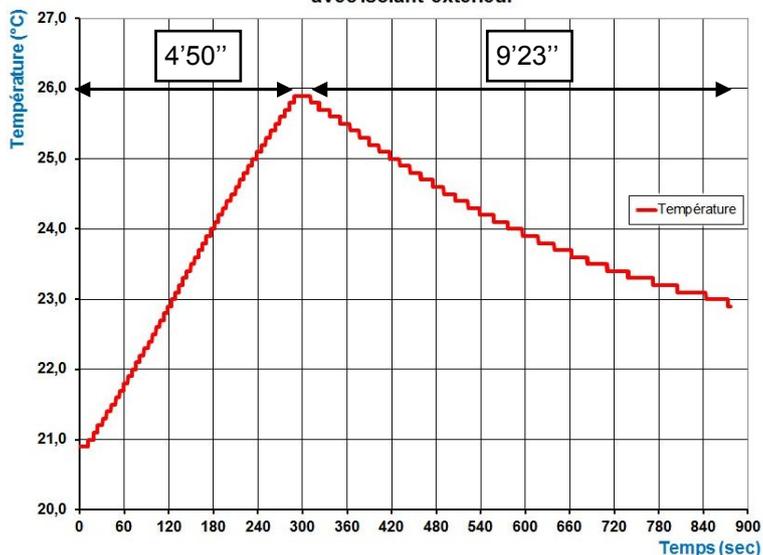
Constat :

Temps de montée à 26 °C : ~ 2'44''

Temps de descente à la température initiale : ~ 8'26''

#### B. Résultats mur en brique et isolant extérieur

Montée et descente en température sur mur brique  
avec isolant extérieur



Constat :

Temps de montée à 26 °C : ~ 4'50''

Temps de descente à la température initiale : ~ 9'23''

7. Noter vos conclusions sur l'expérimentation.

Le mur en brique avec un isolant intérieur monte plus vite en température. Par contre il stocke la chaleur un peu moins longtemps que le mur avec un isolant extérieur. L'isolant à l'intérieur permet de diminuer la puissance de chauffe et l'isolant à l'extérieur permet d'augmenter l'inertie thermique du mur.

## Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 2/4

### Partie 2 - Étudier les spécificités techniques d'un isolant « développement durable »

À partir du **document ressource N°3**, étudier les caractéristiques générales de l'isolant Métisse®.

1. Préciser la composition de l'isolant Métisse®.

Vêtements usagers.

2. Expliquer succinctement les 3 étapes de la fabrication de l'isolant Métisse®.

**CORRIGÉ**

#### Étape 1 Collecte et Tri

Les vêtements sont triés selon leur qualité et leur matière (coton, laine et acrylique) par les équipes du Relais

#### Étape 2 Effilochage

Les textiles sélectionnés pour Métisse® sont effilochés par des lignes de défibrage spécialisées capables d'en retirer tous les corps étrangers (boutons, rivets...).

#### Étape 3 Nappage et Thermoliage

Les fibres textiles sont mélangées et liées entre elles par des fibres polyester thermofusibles pour constituer des panneaux ou rouleaux.

À partir du dossier technique sur l'isolant Métisse® comportant notamment les indicateurs d'impacts environnementaux de cet isolant :

3. Donner l'unité fonctionnelle du bilan environnemental.

Assurer la fonction d'isolation thermique sur 1 m<sup>2</sup> de paroi sur une épaisseur de 100 mm, pendant une annuité et sur une Durée de vie totale de 50 ans avec  $\lambda = 0.039 \text{ W / m.K}$ , tout en assurant les performances prescrites du produit.

4. Quelle est la durée de vie typique de l'isolant Métisse® ? 50 ans

5. Sachant que les déchets éliminés représentent 59 g par an, déterminer le rapport entre déchets valorisés et éliminés.

Déchets valorisés  $\approx 2,36 \text{ g/an}$ , déchets éliminés  $\approx (0.00172+58.9+0.473+0.00749 = 59\text{g/an})$ . Le rapport est donc d'environ 4%. Il est difficile de valoriser les déchets dus à la fabrication, même avec des matériaux « bios ».

6. Citer les caractéristiques de fabrication de l'isolant « Métisse® » remplissant le pilier environnement du développement durable.

Cycle court 100% français, processus à basse température et sans eau, nature recyclée de ses fibres, économie d'énergie sur les bâtiments (isolant)

7. Citer les caractéristiques de fabrication de l'isolant Métisse remplissant le « pilier social » du développement durable.

100% des bénéfices de la vente de l'isolant sont réinvestis dans la lutte contre l'exclusion et pour la création d'emplois durable et d'insertion pour les publics en difficultés.

## Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 3/4

### Partie 3 – Caractériser un isolant thermique

1. Exprimer la relation entre la résistance thermique et le flux de chaleur.

$$R = \frac{\Phi \cdot \Delta T}{q} = \frac{\text{Surface d'échange} \cdot \text{Différence de température (En l'air) à l'équilibre}}{\text{Flux de chaleur en W}}$$

CORRIGÉ

2. Expliquer comment déterminer la constante de temps de la paroi.

La constante de temps peut être déterminée graphiquement en traçant la droite tangente à la courbe à l'origine, puis en cherchant son intersection avec l'asymptote.

3. Déterminer la surface de la paroi servant d'isolant.

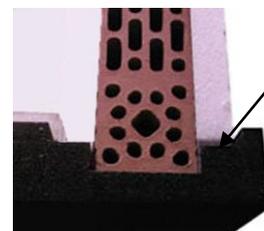
$$\text{Surface de la paroi servant d'isolant} = 31 \text{ cm} \times 23 \text{ cm} = 0.31 \times 0.23 = 0.0713 \text{ m}^2.$$

4. À partir de l'exploitation des courbes précédentes, compléter le tableau ci-dessous en détaillant vos calculs.

Matière	Résistance thermique $R_{th}$ ( $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ )	Constante de temps (en s et min)
Brique	$\frac{0.0713 \cdot (40.0 - 21.0)}{1.0} = 0.09$	1150 s = 19 min
Brique isolée à l'intérieur	$\frac{0.0713 \cdot (40.4 - 21.0)}{1.0} = 0.13$	975 s = 16 min
Brique isolée à l'extérieur	$\frac{0.0713 \cdot (44.0 - 21.0)}{1.0} = 0.11$	1300 s = 22 min

5. Conclure quant à l'intérêt de l'emploi d'un isolant à l'extérieur de la brique du banc d'essai et de son positionnement au regard de la résistance thermique.

La brique isolée à l'extérieur a la meilleure inertie thermique (constante de temps la plus grande).



6. Donner l'expression littérale de la résistance thermique d'une paroi multicouche composée d'un mur et d'un isolant à l'intérieur ou à l'extérieur.

$$R_{th \text{ isolant extérieur}} = R_{th \text{ mur}} + R_{th \text{ isolant}} = R_{th \text{ isolant intérieur}} = R_{th \text{ isolant}} + R_{th \text{ mur}}$$

7. Les résultats expérimentaux confirment-ils la théorie ? Rechercher les éventuelles causes de différence.

Non 0.09 et 0.11. Nous avons négligé les phénomènes de convection et de rayonnement.

8. Comment évolue la constante de temps en fonction de l'emploi et de la position de l'isolant ?

La constante de temps diminue lors du positionnement de l'isolant à l'intérieur.

La couche d'isolant limite fortement le stockage de la chaleur dans le mur.

Par contre si on veut bénéficier de l'inertie thermique des matériaux pour avoir une variation de température plus limitée ou pour stocker de la fraîcheur l'été, l'isolation par l'extérieur montre un gain de performance énergétique par rapport au mur sans isolant.

## Activité 3 - Isolation thermique des murs par l'extérieur ou l'intérieur 4/4

### Partie 4 – Repérer et détecter les ponts thermiques

CORRIGÉ

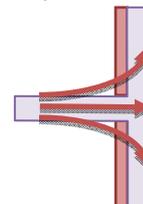
1. En vous aidant du document **ressource N°3 bis**, expliquer comment apparaissent les ponts thermiques dans un bâtiment.

Un pont thermique est une zone de l'enveloppe du bâtiment présentant une conduction thermique plus élevée liée à une diminution localisée de la résistance thermique d'un bâtiment ou l'augmentation ponctuelle du flux thermique.

2. En vous aidant du document **ressource N°2**, noter la part que représentent les ponts thermiques dans les déperditions totales d'une habitation non isolée ou isolée selon la norme RT 2005.

5 à 10% d'une maison non isolée et 20% d'une maison isolée selon la RT 2005.

3. Sur le schéma, représenter le pont thermique.



4. Préciser où se trouvent généralement les ponts thermiques.

Les ponts thermiques se situent généralement aux points de raccord des différentes parties de la construction : nez de planchers, linteaux au-dessus des ouvertures, nez de refends ou de cloisons, etc.

# La gamme d'isolation Métisse®

## Qu'est-ce que Métisse® ?

Métisse est une gamme d'isolation thermique et acoustique pour le bâtiment à partir de fibres textiles recyclés qui a été lancée en 2007 par le réseau d'entreprise « LE RELAIS » membre d'Emmaüs France.

## Comment est né Métisse® ?

Depuis une dizaine d'années, la qualité de la confection textile ne cesse de chuter. Ces vêtements à bas prix se retrouvent très vite dans les collectes du Relais. Mais il est souvent impossible de leur donner une seconde vie dans les filières classiques de réemploi et de recyclage.

En 2000, la quantité de textiles inutilisables était de 40%, aujourd'hui elle est de 60% (+20% en 10 ans). Si bien qu'il fallait que les Relais d'Emmaüs trouvent une solution efficace pour valoriser ces déchets textiles, une partie était déjà recyclée mais il restait entre 10% et 15% de textiles voués à l'incinération jusqu'à l'arrivée de l'isolant Métisse.

## Du vêtement à l'isolant

### Collecte et tri

Les vêtements sont collectés et triés selon leur qualité et leur matière.

### Effilochage

Les textiles sélectionnés pour **Métisse®** sont effilochés par des lignes de défilage spécialisées capables d'en retirer tous les corps étrangers (boutons, rivets...).

### Nappage et Thermoliage

Les fibres textiles sont ensuite mélangées avec des fibres polyesters thermofusibles. Lors du passage dans le four à 140°C, les fibres s'agglomèrent, emprisonnant ainsi l'air pour constituer un matelas isolant sous forme de panneaux ou rouleaux.

### Caractéristiques thermo-acoustique et hygroscopique

Sa contenance en air et sa composition, 70% coton, 15% laine-acrylique et 15% fibres polyester thermofusibles, lui apportent des qualités d'**isolation** très séduisantes. Pour le modèle dont la densité est de 25kg/m<sup>3</sup>, la conductivité thermique s'élève à 0,039 W/m.K sec et 0,044 humide ce qui correspond à celle des laines minérales.

D'un point de vue **acoustique**, 45 mm de cette densité, combinés avec une lame d'air, permet d'obtenir un affaiblissement acoustique (Rw) de 42 db.

De plus, **Métisse®** est un isolant **hygroscopique**. La présence de coton dans sa composition en fait un très bon régulateur hygrométrique, ce qui évite l'humidité relative dans votre habitat.

Traité contre les insectes, les rongeurs, les champignons et le feu, l'isolant Métisse ne présente aucun risque pour l'habitation et pour la sécurité.

## La pose est simple, rapide et se fait en toute sécurité

Les qualités du **Métisse®** ne s'arrêtent pas là, un de ces principaux avantages réside dans la pose. Sa légèreté, sa souplesse et sa résilience garantissent une pose simple et rapide. De plus, l'absence d'émission de poussières permet de travailler en toute confiance avec le produit sans avoir la nécessité de se protéger comme avec de la laine de verre par exemple. Métisse est disponible en panneau, rouleau et flocon dans tous vos projets dans le bâtiment !

## Une empreinte écologique maîtrisée

Dans le cadre de la convention nationale signée entre Emmaüs France et Gaz de France, **Métisse®** s'est engagé dans une démarche d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) et de création d'une Fiche de Déclaration Environnementales et Sanitaires (FDES). Métisse est le premier isolant bio-sourcé ayant une FDES tierce expertisée et certifiée AFAQ Compétences dans le cadre du programme FDES AFNOR. La FDES est d'ores et déjà consultable sur le site de l'AFNOR et sur la base de donnée INIES et CSTB.

## Une isolation écologique mais aussi économique

**Métisse®** est l'un des produits d'isolation écologique les plus compétitifs de sa catégorie sur le marché des éco-matériaux à performances comparables. Son prix est de 12,00€ TTC par m<sup>2</sup> (référence 100mm d'épaisseur et hors frais de transports et de pose).

Métisse est éligible à l'Eco-ptz (le prêt à taux 0% vert), au crédit d'impôt dédié au développement durable (économies d'énergie, énergies renouvelables) et au crédit d'impôt pour les dépenses d'isolation thermique dans le cadre de la rénovation de votre résidence principale.

## Un isolant durable

**Métisse®** est labélisé Emmaüs, ce qui implique une dimension sociale et solidaire. 30 % des travailleurs sont issus du chômage longue durée, 30 % ont des difficultés sociales et 30 % sont des personnes sans qualification.

Générateurs d'emplois, les bénéficiaires de la vente de l'isolant Métisse® sont réinvestis dans le but social du Relais.

## FICHE TECHNIQUE

MT 18 kg/m<sup>3</sup>

		Valeurs spécifiées	Unités	Tolérance
<b>COMPOSITION</b>	Fibres Textiles Recyclées (Coton 70%, Laine et Acrylique 15%)	85%		± 5%
	Polyester (liant) Traitement contre les insectes et moisissures	15%		± 5%
<b>PRODUIT</b>	Densité	18	Kg/m <sup>3</sup>	± 10%
	Épaisseur Largeur standard (autres largeurs sur demande*)	50 et 100 0,6	mm m	± 10% ± 5%
<b>PERFORMANCE Thermique</b>	(extraits des essais laboratoires) <b>Conductivité thermique</b>	$\lambda_{sec} = 0,038$ W/mK $\lambda_{humide} = 0,043$ W/mK		
	Chaleur spécifique Déphasage Thermique (20cm produit seul)	$C_p = 0,36$ Wh/kg.K $\eta = 3h36$		
<b>Comportement à l'eau</b>	Capacité d'absorption d'eau (NF EN 1609)	$W_p = 7,04$ kg/m <sup>2</sup> (soit 23% de la masse volumique)		
	Humidification partielle (norme ACERMI)	$\Delta = 0$ mm (soit aucune variation d'épaisseur Constatée)		
<b>Mécanique</b>	Résistance Traction parallèle (NF EN 1607)	$F_{max} = 704$ N/m <sup>2</sup>		
	Résistance Traction longitudinale (NF EN 1608) Reprise d'épaisseur après compression	$F_{max} = 7,1$ kN/m <sup>2</sup> 100% après 1h		
<b>Biologique</b>	Résistance biologique (Annexe C du CUAP)	F0 (soit le milieu n'est pas propice au développement de moisissures)		
<b>Feu</b>	Produit seul Produit dans les conditions finales d'utilisation (soit sous écran thermique ou associé à plaque de plâtre)	Classement M4 Classement M1		

Métisse M 18 kg/m <sup>3</sup>	Épaisseur (mm)	Largeur (m) (autres largeurs sur demande*)	Longueur (m)	Valeur R spécifiée
<b>METISSE</b> Rouleau	100	0,6	8	R = 2,63

MT "Spécial Toiture" - 18 kg/m<sup>3</sup>

Métisse MT est particulièrement adapté à la pose horizontale.

Son excellent coefficient d'isolation thermique permet d'optimiser l'isolation en sous-toitures, combles ou parquets. Préférez une pose en couches croisées pour réduire les ponts thermiques.

Disponible en rouleau.

Épaisseur: 100mm

Le produit le plus économique de la gamme!

Un produit développé par

**LE RELAIS**  
membre d'Emmaüs France

# Applications de l'imagerie thermique dans le bâtiment

(Extrait du guide de l'imagerie thermique pour l'application du bâtiment et des énergies renouvelables – Sté FLIR)

L'inspection au moyen d'une caméra thermique est un moyen puissant et non invasif qui permet de surveiller et de diagnostiquer l'état des bâtiments. Une caméra thermique permet d'identifier les problèmes très tôt, donc de les documenter et de les corriger avant qu'ils ne s'aggravent et entraînent des réparations coûteuses.

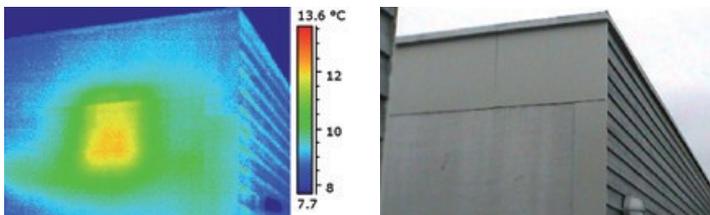
L'inspection d'un bâtiment à l'aide d'une caméra thermique permet :

- de visualiser les déperditions d'énergie ;
- de détecter les défauts ou l'absence d'isolation ;
- de trouver les fuites d'air ;
- de trouver l'humidité dans l'isolation, les toits et les murs, dans la structure intérieure et extérieure ;
- de détecter la moisissure et les zones mal isolées ;
- d'identifier les ponts thermiques ;
- de repérer l'infiltration de l'eau dans les toits en terrasse ;
- de détecter les ruptures de canalisation d'eau chaude ;
- de voir les erreurs de construction ;
- de surveiller le séchage de la construction ;
- de trouver les défauts dans les canalisations d'alimentation et le réseau de chauffage urbain ;
- d'identifier les problèmes électriques.

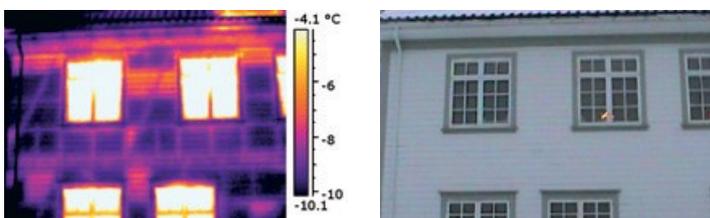
**Les caméras thermiques** sont l'outil idéal pour localiser et identifier les défaillances du bâtiment car elles montrent ce qui est invisible. Sur une image thermique, les problèmes sautent aux yeux. Une image thermique comportant des données exactes de température fournit aux experts du bâtiment des informations importantes sur l'état de l'isolation, la pénétration de l'humidité, l'apparition de la moisissure, les défauts électriques, la présence de ponts thermiques et le fonctionnement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation.

## Défauts d'isolation et fuites d'air

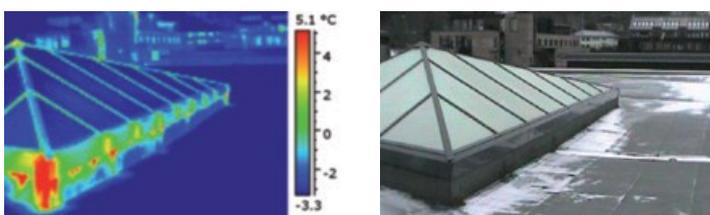
L'imagerie thermique est un outil exceptionnel pour localiser les défauts des bâtiments tels que l'absence d'isolation, le décollement d'enduit et les problèmes de condensation.



*Cet immeuble est chauffé. Il est construit en sandwich : béton, isolant, béton. Il manque une partie de l'isolant, et c'est parfaitement invisible de l'intérieur comme de l'extérieur. L'imagerie thermique montre ici ce que l'œil humain ne peut voir.*

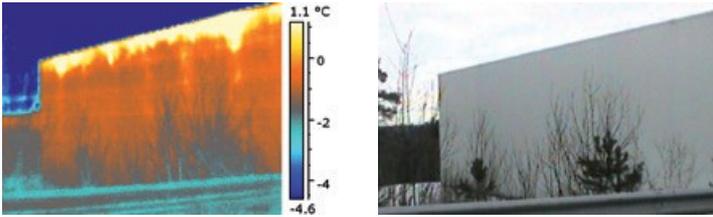


*Construction à ossature. De nombreuses sections ne sont pas isolées, comme indiqué par les couleurs plus chaudes.*



*Toit en verre sur atrium. Il est étanche à l'eau, mais pas à l'air. La surpression fait sortir de l'air chaud. La solution est de rendre le toit étanche à l'air.*

Le toit et les murs de certains entrepôts sont assemblés à partir d'éléments préfabriqués bien isolés. Mais l'énergie peut s'échapper par les joints entre ces éléments.



*Cet entrepôt laisse échapper beaucoup d'air chaud entre le mur et le toit. Il faut étanchéifier cette zone pour stopper la déperdition d'énergie.*

Lors de la recherche de défaut d'isolation ou de perte d'énergie au moyen d'une caméra thermique, il est préférable que la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment soit au moins de 10 °C. Il est possible de travailler avec une différence de température moins importante si la caméra thermique possède une résolution et une sensibilité thermique élevées.

...

### **Ponts thermiques**

L'imagerie thermique permet également de localiser les **ponts thermiques** des bâtiments, sources de gaspillage d'énergie.

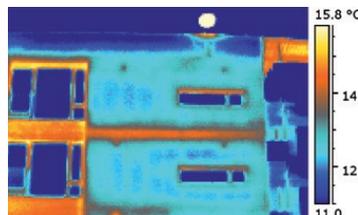
Un pont thermique est une zone de l'enveloppe du bâtiment présentant une conduction thermique plus élevée. Son existence est liée aux contraintes de construction. Or la chaleur s'échappe de la zone chauffée vers l'extérieur par les matériaux offrant la meilleure conductivité thermique.

Les effets d'un pont thermique sont :

- une baisse de température des surfaces intérieures ; dans les cas extrêmes, cela peut provoquer des problèmes de condensation, en particulier dans les coins
- des déperditions de chaleur importantes
- des zones froides dans le bâtiment.



*Pont thermique à l'un des étages.*



*Ponts thermiques entre les poutres du toit et les murs.*

**Nota :** toutes les images sont utilisées avec l'accord de la société FLIR.

## Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 1/2

### ❶ Les points du programmes – STI2D

#### A. Objectifs et compétences de la spécialité « Architecture et construction »

Objectifs de formation	Compétences attendues
O8 - Valider des solutions techniques	CO8.ac2. Analyser les résultats issus de simulations ou d'essais de laboratoire CO8.ac3. Analyser/valider les choix structurels et de confort

#### B. Extrait programme de la spécialité « Architecture et construction » (extraits)

##### 2. Conception d'un ouvrage

2.1 Solutions technologiques				
Le confort : - thermique - acoustique - visuel - respiratoire		1 <sup>ère</sup> /T	3	Choisir les matériaux, les éléments de construction, les systèmes actifs ou passifs permettant d'assurer le confort. Limiter les études à la réalisation du synoptique de fonctionnement global des systèmes pour l'habitat individuel et le petit collectif. Le matériel proposé est de type grand public communiquant.
2.3 Modélisations, essais et simulations				
Confort hygrothermique : - caractéristiques et comportements thermiques des matériaux et parois	*	1 <sup>ère</sup> /T	3	<i>Il s'agit de compléter les éléments des enseignements technologiques communs par des études de dossiers technologiques du domaine de la construction. Le comportement thermique d'une paroi sera traité sur une paroi composite (comportant une partie vitrée). On étudie la spécificité du vitrage vis-à-vis d'un bilan énergétique annuel (thermique, éclairage naturel).</i>

#### A. Objectifs et compétences de la spécialité « Énergie et environnement »

Objectifs de formation	Compétences attendues
O8 - Valider des solutions techniques	CO8.ee2. Interpréter les résultats d'une simulation afin de valider une solution ou l'optimiser CO8.ee3. Comparer et interpréter le résultat d'une simulation d'un comportement d'un système avec un comportement réel

#### B. Extrait programme de la spécialité « Énergie et environnement »

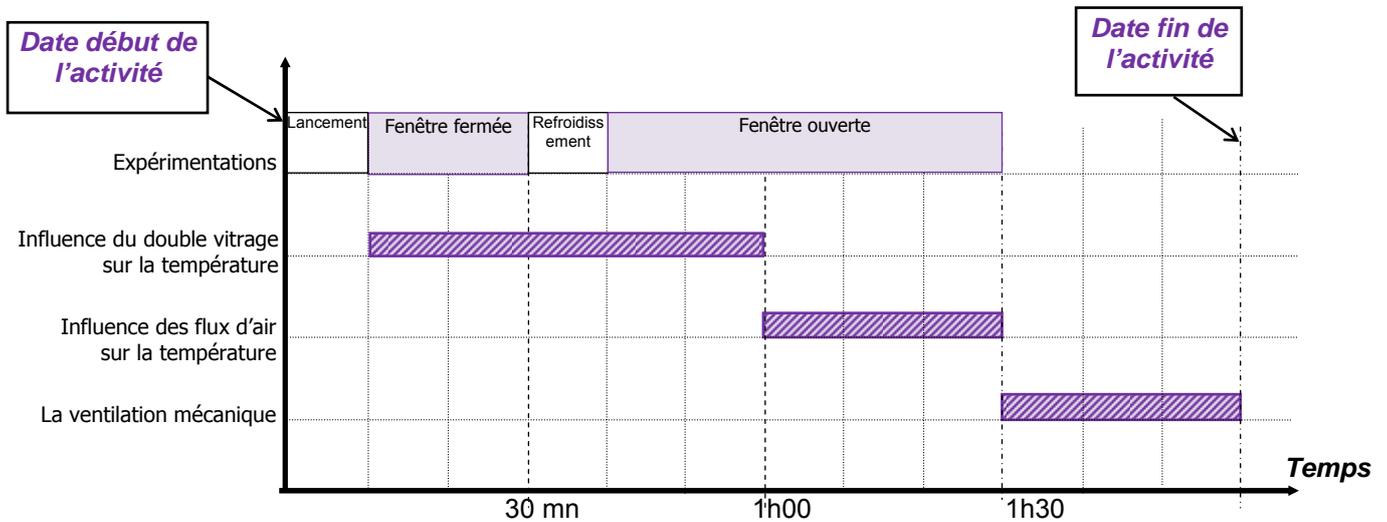
##### 2. Conception d'un système

2.3 Paramètre influant la conception				
Efficacité énergétique passive et active d'un système		1 <sup>ère</sup> /T	3	<i>Ce concept a été abordé dans les enseignements technologiques communs. Dans l'enseignement spécifique de la spécialité, il s'agit de proposer des solutions permettant d'améliorer l'efficacité énergétique d'un système.</i>

## Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 2/2

### La mise en place de la séquence

#### 2.1 Organisation



L'activité 4 permet de travailler autour des deux problématiques suivantes :  
**Comment améliorer l'isolation thermique des vitrages d'une habitation ?**  
**Comment aérer une habitation sans perdre trop d'énergie thermique**

Autour de cette problématique les élèves en groupe vont :

- expérimenter l'inertie thermique d'un simple ou double vitrage à l'aide du banc d'essai isolation thermique ;
- calculer les pertes énergétiques d'une paroi vitrée ;
- déterminer l'influence des flux d'air sur la température d'une habitation ;
- préciser les déperditions énergétiques liées à l'utilisation d'une ventilation mécanisée.

Chaque partie de l'activité est suivie d'un moment de synthèse. Les élèves notent sur leur classeur ou cahier le bilan de l'activité.

L'accent sera mis sur la nécessité d'isoler les ouvertures dans les habitations pour que l'efficacité énergétique du chauffage soit maximum.

#### 2.2 Matériel nécessaire

Banc d'essai thermique + système XLogger + **Document ressource N°4** « La ventilation dans l'habitat »

## Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 1/6

### ? Problématique

Une entreprise du bâtiment désire augmenter l'efficacité énergétique de ses constructions. Elle souhaite proposer à ses futurs clients des réalisations les plus confortables possibles et répondant à différents **labels environnementaux**.

Après un bilan énergétique du modèle d'habitation le plus courant, il apparaît primordial de rechercher des solutions permettant de limiter les déperditions énergétiques au niveau des **ouvertures** et d'optimiser l'**aération** de la construction.

**Comment augmenter l'isolation thermique des vitrages d'une habitation ?**  
**Comment aérer une habitation sans perdre trop d'énergie thermique ?**

**Les supports de travail : Document ressource N°4 « La ventilation dans l'habitat ».**

Cette étude permet de quantifier l'influence de ces ouvertures sur les déperditions énergétiques de l'habitat. Pour cela, nous allons utiliser le banc d'essai thermique.

### Partie 1 - Expérimenter l'inertie thermique d'un simple ou double vitrage

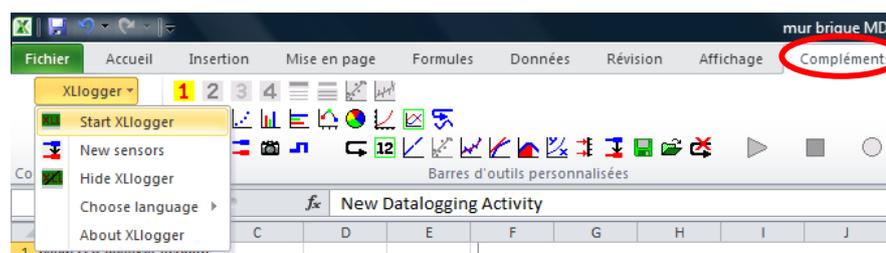
#### A. Mesure avec un simple vitrage - Protocole d'expérimentation

##### Étape 1

- ☞ Brancher le banc d'essai thermique et vérifier que la lampe s'allume (cette lampe modélise un radiateur d'une puissance de **15 W**).
- ☞ Installer le **mur brique** dans le banc d'essai, le carton mousse en polystyrène expansé (épaisseur : 10 mm) à l'intérieur du banc et le vitrage plastique en PMMA.
- ☞ Placer le plafond.
- ☞ Démarrer le tableur-grapheur « Excel ».

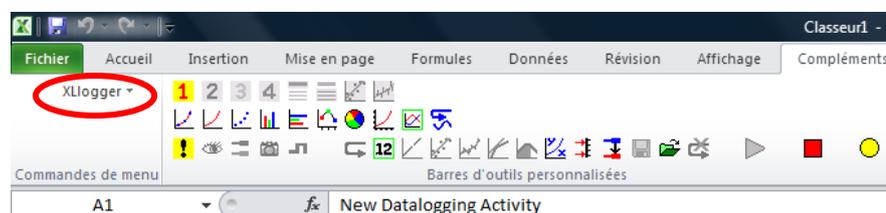
Activer l'application qui apparaît dans l'onglet « compléments », nommée « **XLlogger** ».

Elle permet d'effectuer des mesures de température et de tracer la courbe automatiquement toutes les 0,5s.



Sélectionner « Start XLlogger ».

Brancher la sonde de température à un port USB de votre ordinateur.



Cliquer sur  **Enregistrer automatiquement.**  
 Allumer la lampe simultanément en cliquant sur le triangle vert.  
 Vos mesures commencent.

##### Étape 2

- ☞ Éteindre la lampe dès que la température atteint **26°C**.
- ☞ Attendre que la température descende en dessous de **22° C**.
- ☞ Stopper l'expérimentation et enregistrer le fichier obtenu.
- ☞ Enlever le plafond du banc d'essai thermique et attendre ~10 minutes afin qu'il revienne à la température ambiante du début de l'expérimentation.

#### B. Mesure avec un double vitrage - Protocole d'expérimentation

- ☞ Effectuer le même protocole en glissant les deux vitrages dans la fenêtre (**étape 1 et 2**).

**Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 2/6**

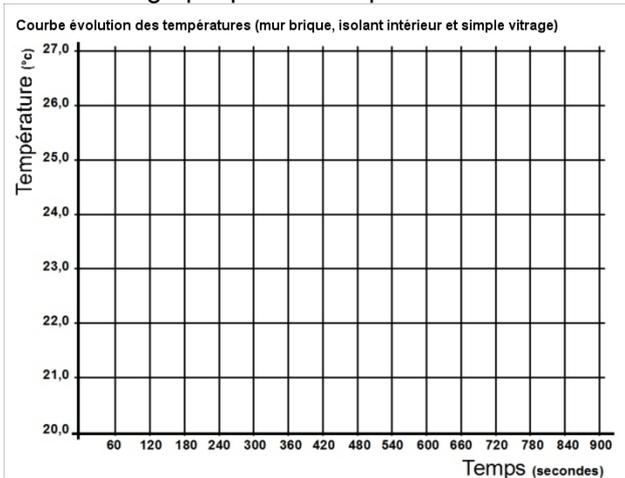
**Étape 3**

1. Reporter les températures obtenues lors de l'expérimentation sur le banc d'essai avec le mur en brique, l'isolant à l'intérieur et le **simple vitrage**.

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	480	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900

2. Tracer le graphique des températures



3. À partir du graphique, déterminer le temps de montée et descente de la température avec le mur en brique, l'isolant à l'intérieur et le simple vitrage.

Montée à 26°C : .....  
 Descente à la température initiale : .....



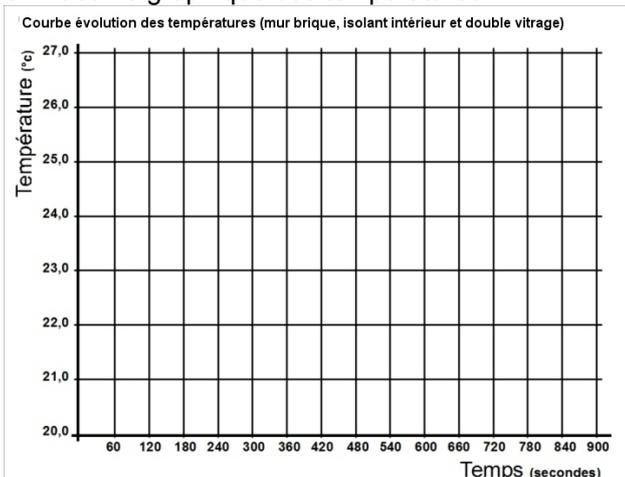
Simple vitrage

4. Reporter les températures obtenues lors de l'expérimentation sur le banc d'essai avec le mur en brique, l'isolant à l'intérieur et le **double vitrage**.

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450

<b>Températures</b>															
<b>Temps (seconde)</b>	480	510	540	570	600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900

5. Tracer le graphique des températures



6. À partir du graphique, déterminer le temps de montée et descente de la température avec le mur en brique, l'isolant à l'intérieur et le double vitrage.

Montée à 26°C : .....  
 Descente à la température initiale : .....



Double vitrage

7. Noter vos conclusions sur l'expérimentation.

.....  
 .....

## Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 3/6

### Partie 2 - Calculer les pertes énergétiques d'une paroi vitrée

À partir du document ressource N°2 « Les énergies thermiques – fondamentaux Niveau 2 » :

1. Classer dans le tableau ci-dessous par ordre croissant la répartition des pertes thermiques dans une habitation individuelle avec isolation suivant la norme **RT 2005** et surligner le pourcentage lié aux vitrages.

Éléments constitutifs de l'habitation	Habitation individuelle isolée selon la norme RT 2005
Murs	
Plancher	
Ponts thermiques	
Fenêtre et portes extérieures	
Vitrages	
Renouvellement d'air	
Toit	

2. Préciser le mode de transfert thermique qui entraîne une sensation de froid lorsque l'on touche le verre d'une fenêtre en hiver.

.....

3. Expliquer comment déterminer la résistance thermique  $R_{th}$  d'une paroi en fonction de la conductivité thermique du matériau et de son épaisseur.

$R_{th} =$  .....

.....

4. Calculer la résistance thermique pour une fenêtre à simple vitrage dont l'épaisseur est de 4 mm.  
( $\lambda_{verre} = 1,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$R_{th} =$  .....

.....

5. Calculer la résistance thermique d'un double vitrage (épaisseur d'une vitre : 4 mm). ( $\lambda_{air} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

.....

.....

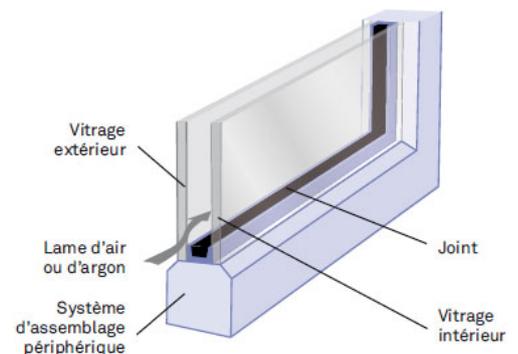
.....

6. Préciser le rôle de la lame d'air entre les deux plaques de verre.

.....

.....

.....



**Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 4/6**

7. Déterminer la résistance thermique pour une fenêtre en triple vitrage.

$R_{th} =$  .....

8. Calculer le rapport des résistances thermiques double et simple vitrage puis triple et simple vitrage. En déduire celui qui vous paraît être le plus performant en termes d'isolation thermique.

Double / Simple  $\Rightarrow$  .....

Triple / Simple  $\Rightarrow$  .....

9. Rechercher deux solutions permettant d'améliorer la performance thermique du double vitrage. (voir site internet : [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10397.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10397.htm) )

**1<sup>ère</sup> solution :**

.....  
 .....

**2<sup>ème</sup> solution :**

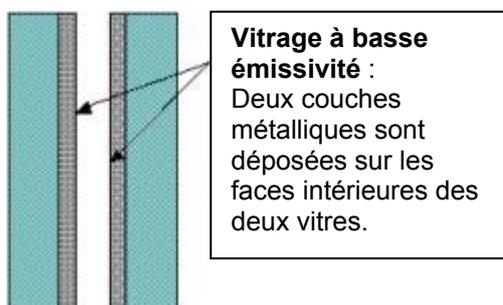
.....  
 .....

10. Rechercher le principe de fonctionnement du vitrage à basse émissivité.

.....  
 .....

Préciser le mode de transfert thermique qu'on essaie ainsi de limiter.

.....

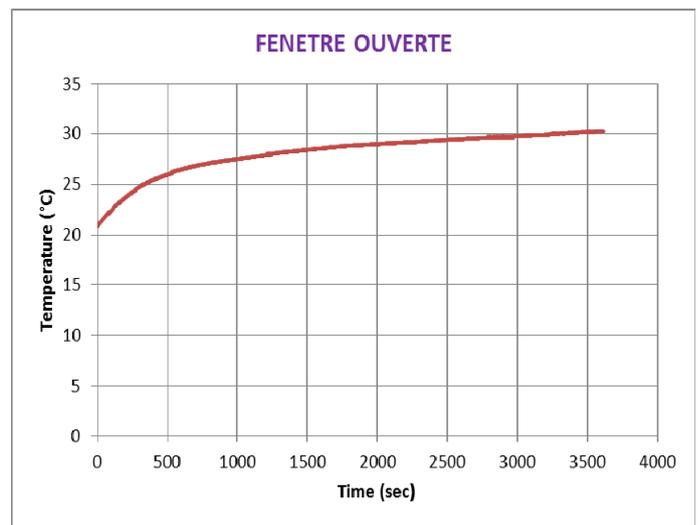
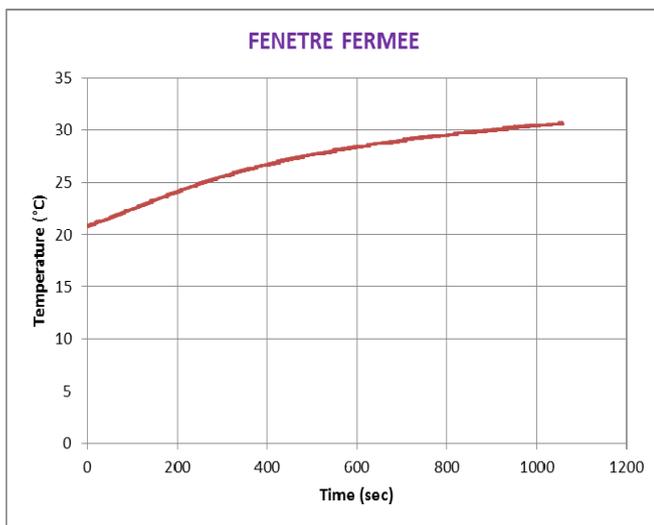


**Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 5/6**

**Partie 3 – Déterminer l'influence des flux d'air sur la température d'une habitation**

L'aération des habitations permet de ventiler, de renouveler l'air, d'évacuer l'humidité, la vapeur d'eau et la pollution liée à l'occupation des constructions et ainsi garantir l'hygiène des lieux et la santé des occupants. La solution la plus simple consiste à ouvrir les fenêtres mais ceci n'est pas sans conséquence sur les déperditions énergétiques de l'habitat.

Afin de constater l'influence du flux d'air sur la température intérieure, nous allons étudier les résultats graphiques des expérimentations menées avec le caisson lorsque la fenêtre est ouverte puis fermée.



À partir de chaque graphique :

1. Repérer la durée pour chauffer le banc d'essai de 25 à 30°C.
2. Déterminer la quantité d'énergie consommée pour chauffer le caisson de 25 à 30°C sachant que l'ampoule modélise un radiateur rayonnant d'une puissance de 15 W.
3. Détailler vos résultats et calculs dans le tableau suivant.

**Energie consommée = Puissance (W) x Temps (h)**

	Variation de température	Durée pour réaliser cette variation en s et en mn	Energie consommée (Wh)
Fenêtre fermée	25°C à 30°C	~ 600 s = 10 min	.....
Fenêtre ouverte	25°C à 30°C	..... = .....	.....

4. Préciser l'influence de l'ouverture de la fenêtre sur la consommation énergétique liée au chauffage du banc d'essai thermique.

.....

.....

.....

**Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 6/6**

**Partie 4 – Étudier le rôle de la ventilation dans une habitation**

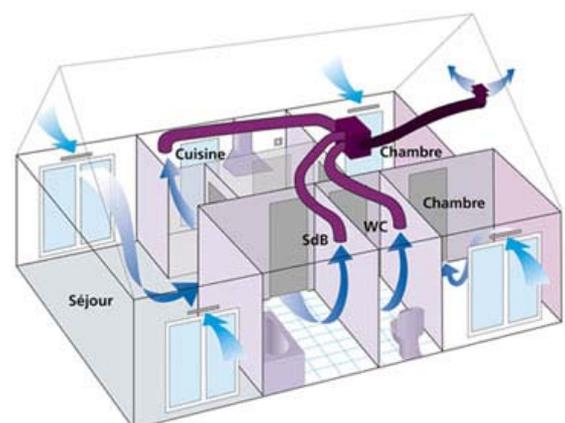
Le renouvellement de l'air d'une habitation peut aussi être assuré par une ventilation forcée.

À partir du **document ressource N°4** « La ventilation dans l'habitat » :

1. Déterminer le débit d'air minimum imposé pour une maison individuelle constituée de 4 pièces.  
.....
2. Préciser la signification de l'acronyme « VMC » ?  
.....
3. Décrire précisément la circulation de l'air depuis l'entrée jusqu'à la sortie avec une ventilation simple flux.
4. Quel est le principe d'une VMC « hygrovariable » ou « hygroréglable » ?  
.....
5. Quels sont les avantages d'une ventilation à double flux par rapport à une ventilation à simple flux ?  
.....
6. Quelle est la température de la terre à 2 m de profondeur ? Cette température change-t-elle avec les saisons ?  
.....
7. Détailler le principe d'un puits canadien et son intérêt en hiver.  
.....  
.....
8. Déterminer l'intérêt du puits canadien l'été ?  
.....  
.....
9. Quelle est la longueur minimum de tuyaux sous terre, le diamètre et à quelle profondeur minimum pour un puits canadien ?  
.....
10. Classer dans l'ordre les systèmes de ventilations proposés ci-dessous, suivant les déperditions thermiques induites.

Ventilation naturelle, VMC simple flux, VMC simple flux hydrovariable, VMC double flux , VMC double flux avec puits canadien.

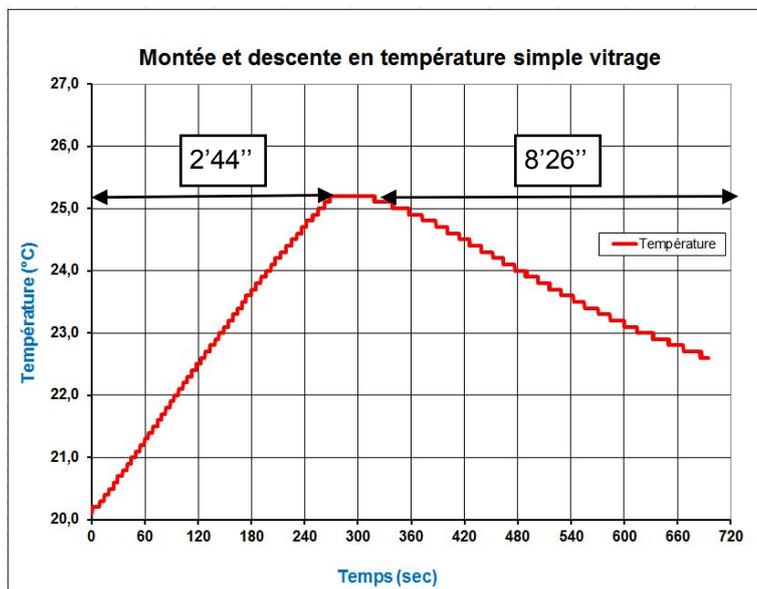
	VMC
1	
2	
3	
4	
5	



## Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 1/5

### Partie 1 - Expérimenter l'inertie thermique d'un simple ou double vitrage

#### A. Résultats mur en brique, isolant intérieur et simple vitrage



CORRIGÉ



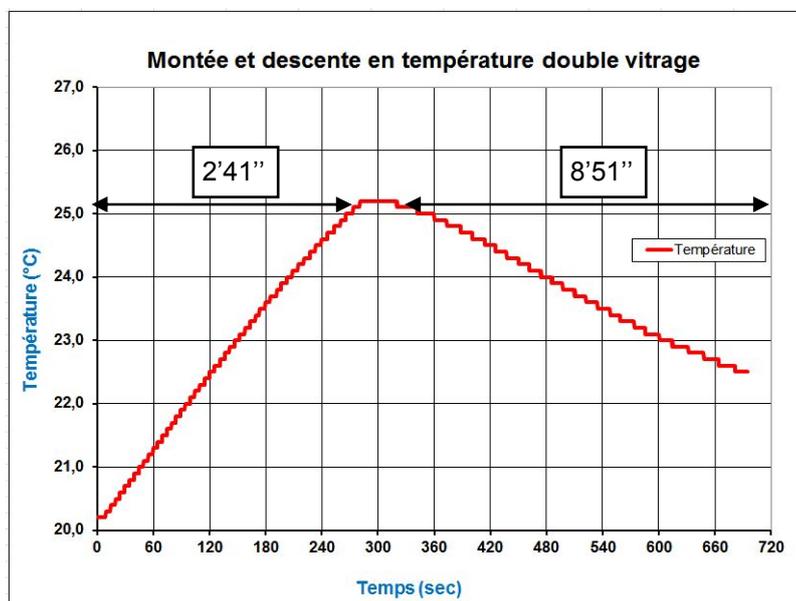
Simulation  
simple vitrage

#### Constat :

Temps de montée à 26 °C : ~ 2'44''

Temps de descente à la température initiale : ~ 8'26''

#### B. Résultats mur en brique, isolant intérieur et double vitrage



Simulation  
double vitrage

#### Constat :

Temps de montée à 26 °C : ~ 4'50''

Temps de descente à la température initiale : ~ 9'23''

#### 7. Noter vos conclusions sur l'expérimentation

Le double vitrage permet une montée légèrement plus rapide et une descente légèrement plus lente de la température, il semble isoler davantage la pièce que le simple vitrage.

Même minime le choix va avoir une influence sur la consommation et l'efficacité énergétique du logement.

La lame d'air ou de vide entre les deux vitres va jouer le rôle d'isolant et va retarder la perte de température.

## Activité 4 - Isolation thermique des vitrages et ventilation de l'habitat 2/5

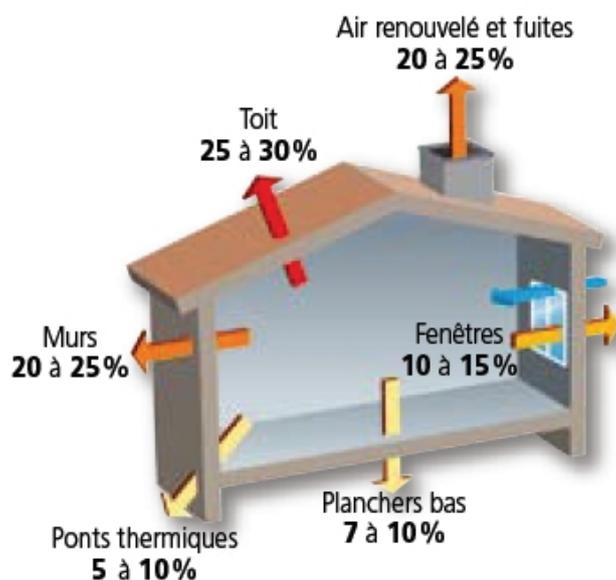
### Partie 2 – Calculer les pertes énergétiques d'une paroi vitrée

À partir du document ressource N°2 sur les énergies thermiques :

**CORRIGÉ**

1. Classer dans le tableau ci-dessous par ordre croissant la répartition des pertes thermiques dans une habitation individuelle avec isolation suivant la norme **RT 2005** et surligner le pourcentage lié aux vitrages.

	Habitation individuelle isolée selon la norme RT 2005
Murs	20 %
Plancher	20 %
Ponts thermiques	20 %
Fenêtre et portes extérieures	15 %
Vitrages	15 %
Renouvellement d'air	15 %
Toit	10 %



L'isolaton Thermique - Source ADEME

2. Préciser le mode de transfert thermique qui entraîne une sensation de froid lorsque l'on touche le verre d'une fenêtre en hiver.

Phénomène de conduction au point de contact entre la fenêtre froide et la main chaude.

3. Expliquer comment déterminer la résistance thermique  $R_{th}$  d'une paroi en fonction de la conductivité thermique du matériau et de son épaisseur.

$$R_{th} = \text{Épaisseur du matériau (e)} / \text{conductivité thermique du matériau (\lambda)}$$

## Activité 4 - Isolation des parois vitrées et ventilation de l'habitat

3/5

4. Calculer la résistance thermique pour une fenêtre à simple vitrage dont l'épaisseur est de 4 mm. ( $\lambda_{\text{verre}} = 1,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$$R_{\text{th}} = R_{\text{th-verre}} = e / \lambda = 0,004 / 1,2 = 0,00333... \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$$

Calculer la résistance thermique d'un double vitrage (épaisseur d'une vitre : 4 mm). ( $\lambda_{\text{air}} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$$R_{\text{th}} = R_{\text{th-verre1}} + R_{\text{th-air}} + R_{\text{th-verre2}} = (R_{\text{th-verre}} \times 2) + R_{\text{thair}} = (0,004 / 1,2) \times 2 + (0,016 / (2,5 \times 10^{-2})) = 0,0067 + 0,64 = 0,65 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$$

6. Préciser le rôle de la lame d'air entre les deux plaques de verre.

La lame d'air augmente la résistance thermique de la fenêtre ce qui permet de diminuer les déperditions thermiques.

7. Déterminer la résistance thermique pour une fenêtre en triple vitrage.

$$R_{\text{th}} = R_{\text{th-verre}} \times 3 + R_{\text{th-air}} \times 2 = (0,004 / 1,2) \times 3 + (0,016 / (2,5 \times 10^{-2})) \times 2 = 0,01 + 1,28 = 1,29 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$$

8. Calculer le rapport des résistances thermiques double et simple vitrage puis triple et simple vitrage. En déduire le type de vitrage qui vous paraît être le plus performant en termes d'isolation thermique.

Rapport Double / Simple vitrage  $\Rightarrow 0,65/0,00333 = \sim 195$  fois plus isolant

Rapport Triple / Simple vitrage  $\Rightarrow 1,29/0,00333 = \sim 390$  fois plus isolant

Le triple vitrage offre la meilleure performance en termes d'isolation thermique.

9. Proposer deux solutions réelles permettant d'améliorer la performance thermique du double vitrage. (voir site internet : [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10397.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10397.htm) )

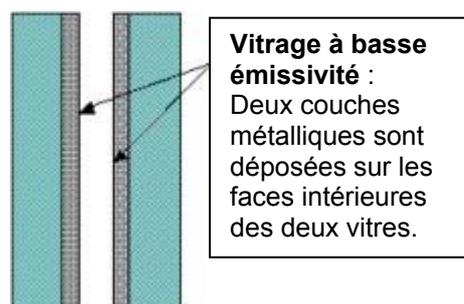
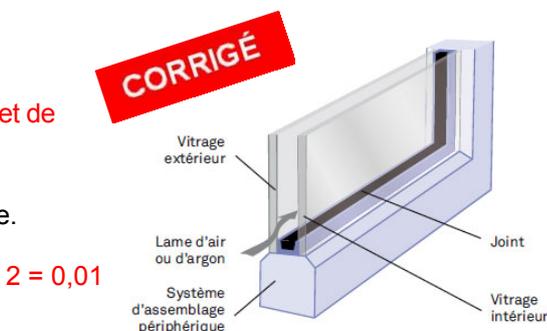
**1<sup>ère</sup> solution :** Augmenter l'espace interstitiel (épaisseur de la lame d'air). Mais au-delà de 14 mm l'isolation reste constante car des boucles d'échanges convectifs se forment entre la vitre chaude et froide.

**2<sup>ème</sup> solution :** Remplacer l'air par un gaz moins conducteur : l'Argon, le Krypton, ...  $\lambda_{\text{Argon}} = 0,01772 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

10. Déterminer le principe de fonctionnement du vitrage à basse émissivité. (Voir site internet) <http://universduverre.free.fr/actu.html>. Quel mode de transfert thermique essaie-t-on ainsi de limiter ?

Les couches métalliques composées d'un ou plusieurs oxydes métalliques sur une ou plusieurs sous-couches, quasi invisibles, laissent d'une part pénétrer les rayons du soleil et réfléchissent les rayonnements infra-rouges émis par les sources de chaleur internes (radiateur, équipements informatiques, occupants...) de sorte qu'ils ne puissent pas s'échapper.

Les rayonnements infra-rouges rebondissent contre la couche à basse émissivité.

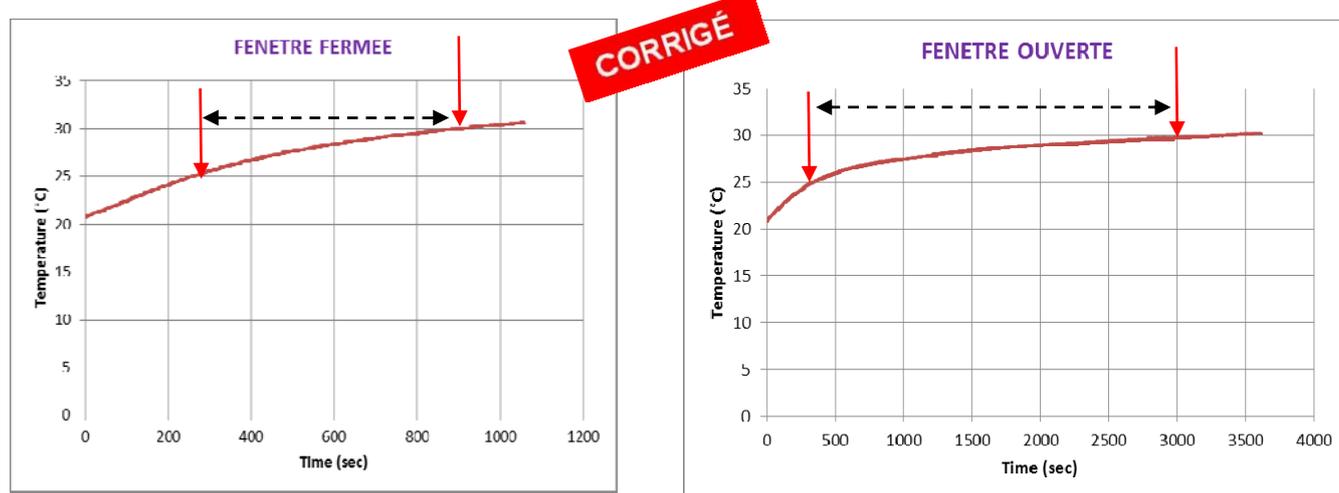


## Activité 4 - Isolation des parois vitrées et ventilation de l'habitat 4/5

### Partie 3 – Déterminer l'influence des flux d'air sur la température d'une habitation

L'aération des habitations permet de ventiler, de renouveler l'air, d'évacuer l'humidité, la vapeur d'eau et la pollution liée à l'occupation des constructions et ainsi garantir l'hygiène des lieux et la santé des occupants. La solution la plus simple consiste à ouvrir les fenêtres mais ceci n'est pas sans conséquence sur les déperditions énergétiques de l'habitat.

Afin de constater l'influence du flux d'air sur la température intérieure, nous allons étudier les résultats graphiques des expérimentations menées avec le caisson lorsque la fenêtre est ouverte puis fermée.



À partir de chaque graphique :

1. Repérer la durée pour chauffer le banc d'essai de 25 à 30°C.
2. Déterminer la quantité d'énergie consommée pour chauffer le caisson de 25 à 30°C sachant que l'ampoule modélise un radiateur rayonnant d'une puissance de 15 W.
3. Détailler vos résultats et calculs dans le tableau suivant.

Energie consommée = Puissance (W) x Temps (h)

	Variation de température	Durée pour réaliser cette variation en s et en mn	Energie consommée (Wh)
Fenêtre fermée	25°C à 30°C	~ 600 s = 10 min	~ 2,5 Wh
Fenêtre ouverte	25°C à 30°C	~ 2700 s = 45 min	~ 11,25 Wh

4. Préciser l'influence de l'ouverture de la fenêtre sur la consommation énergétique liée au chauffage du banc d'essai thermique.

L'ouverture de la fenêtre augmente considérablement les déperditions énergétiques.

**Remarque :** on pourra faire remarquer aux élèves que cette expérimentation n'a véritablement de sens que si elle est soumise à des conditions réelles (température extérieure faible, conditions climatiques (vent ?), taux hygrométrie, etc.).

## Activité 4 - Isolation des parois vitrées et ventilation de l'habitat 5/5

### Partie 4 – Étudier le rôle de la ventilation dans une habitation

Le renouvellement de l'air d'une habitation peut aussi être assuré par une ventilation forcée. Après avoir étudié le document ressource N°4 sur la ventilation, répondez aux questions suivantes :

1. Déterminer le débit d'air minimum imposé pour une maison individuelle constituée de 4 pièces.

Le débit d'air minimum imposé est de 120 m<sup>3</sup>/h.

2. Préciser la signification de l'acronyme « VMC » ?

VMC = Ventilation Mécanique Contrôlée

3. Détailler précisément la circulation de l'air depuis l'entrée jusqu'à la sortie avec une ventilation simple flux.

L'air neuf entre par des trappes d'aérations placées dans les pièces à vivre et l'air vicié est aspiré, grâce à un groupe d'extraction motorisé, via des bouches d'aération, dans les pièces dites de services (cuisine, salle de bain, WC).

4. Quel est le principe d'une VMC hygrovariable ou hygroréglable

La quantité d'air expulsée de la maison varie en fonction du taux d'humidité de l'air ambiant.

5. Quels sont les avantages d'une ventilation à double flux par rapport à une ventilation à simple flux ?

La VMC double flux limite les pertes calorifiques de l'air rejeté.

6. Quelle est la température de la terre à 2m de profondeur ? Cette température change-t-elle avec les saisons ?

La température située à 2 m de profondeur est quasi constante tout au long de l'année. Sa valeur est d'environ 15° C.

7. Détailler le principe d'un puits canadien et son intérêt en hiver ?

L'air aspiré par la VMC se réchauffe en passant dans un gros tuyau enterré (diamètre 20 cm) sur une longueur d'environ 40 m.

8. Quel est l'intérêt du puits canadien l'été ?

L'air chaud aspiré par la VMC se refroidit en passant dans un gros tuyau enterré puis remonte.

9. Quelle est la longueur minimum de tuyaux sous terre, le diamètre et à quelle profondeur minimum pour un puits canadien ?

Longueur : 40 m - Diamètre : 20 cm - Profondeur : 1,2 m

10. Classer dans l'ordre les systèmes de ventilations proposés ci-dessous, suivant les déperditions thermiques induites.

Ventilation naturelle, VMC simple flux, VMC simple flux hydrovariable, VMC double flux, VMC double flux avec puits canadien.

	VMC
1	Ventilation naturelle
2	VMC simple flux
3	VMC simple flux hydrovariable
4	VMC double flux
5	VMC double flux avec puits canadien

\* La VMC simple flux est le système le plus répandu au niveau des habitations individuelles. Il consiste à disposer des entrées d'air au niveau des fenêtres des pièces sèches telles que la salle de séjour, les chambres, etc. L'air extérieur aspiré circule dans les pièces sèches puis se dirige vers les pièces humides par le biais de passages d'air aménagés sous les portes intérieures, 1cm au minimum. Ces passages permettent la circulation de l'air même avec les portes fermées. L'air vicié est évacué par les bouches d'extraction installées dans les pièces humides

# La ventilation dans l'habitat

## 1. Le rôle de la ventilation

La ventilation permet de lutter contre les pollutions visibles ou non, les émanations diverses (odeurs, parfums d'intérieur, fumées, etc.), le CO<sup>2</sup> (respiration, cuisine, bougies, etc.), les acariens, microbes, les poussières etc. et évacuer l'humidité contenue dans l'air ambiant sous forme de vapeur d'eau.

## 2. Le volume d'air à renouveler

Le débit minimum est imposé par les arrêtés du 24/03/1982 et du 28/10/1983.

Nb de pièces	Débit en m <sup>3</sup> /h				
	Cuisine	Salle de bains	Autre salle d'eau	Toilettes	
				Unique	Multiple
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
5 et plus	135	30	15	30	15

## 3. La ventilation

La ventilation peut se faire naturellement par le biais des courants d'air ou par le biais d'orifices d'entrée d'air en bas des murs des pièces principales et des bouches de sortie en partie haute des pièces humides.

Le débit est très mal contrôlé car il dépend essentiellement du vent, des conditions climatiques et de la saison. Il peut conduire à certains moments à une sous ventilation néfaste et à d'autres trop élevés conduisant ainsi à d'inutiles besoins de chauffage.

Pour réduire ces problèmes, la ventilation est mécanisée et contrôlée.

La **ventilation mécanique** désigne tous les dispositifs motorisés d'évacuation ou d'insufflation d'air frais. Elle est peut-être régulée électroniquement : on parle alors de ventilation mécanique contrôlée (**VMC**).

## 4. Les différents types de ventilation mécanisée contrôlée

### a. Ventilation mécanisée contrôlée simple flux

Système le plus simple à installer.

L'air vicié est aspiré, grâce à un groupe d'extraction motorisé, via des bouches d'aération, dans les pièces dites de services (cuisines, salle de bains, WC). L'air neuf entre par des trappes d'aérations placées dans les pièces à vivre.

Le flux de renouvellement est constat, quel que soit les conditions météorologiques.

L'air qui pénètre dans la maison est à la température extérieure, ce qui occasionne d'importantes pertes énergétiques quand la température est inférieure à 10°, cela reste donc une solution à ne pas négliger dans les zones tempérées. Ce système est peu onéreux.

### b. Ventilation mécanisée contrôlée Hygroréglable ou hygrovariable

Ce sont des VMC simple flux dont le débit d'air extrait est fonction de l'humidité des pièces. On en distingue deux types :

- Caisson hygroréglable

Un capteur d'humidité permet le basculement entre petite vitesse et grande vitesse. Le débit minimum demeure cependant le débit nominal.

- Bouche hygrovariable

Les bouches d'extraction modulent le débit de ventilation en fonction de l'hygrométrie.

Si l'humidité relative est faible, les membranes des entrées d'air sont fermées, cela limite donc l'afflux d'air extérieur réduisant les pertes énergétiques.

### c. Ventilation mécanisée contrôlée double flux à flux croisé

Son principe est de réchauffer l'air neuf introduit dans le logement en récupérant la chaleur de l'air évacué.

Avant d'être refoulé à l'extérieur du bâtiment, l'air vicié passe dans un échangeur. Celui-ci récupère les calories contenues dans cet air pour les céder à celui aspiré de l'extérieur, entrant dans la maison.

Cette solution prend tout son intérêt dans les régions où les hivers sont rigoureux, même si en cas de grand froid, il convient de réchauffer l'air : le transfert de calories n'est pas parfait. Ce système est assez onéreux.

#### d. Ventilation mécanisée contrôlée double flux à enthalpie

L'échangeur grâce à une membrane, transfère l'humidité de l'air vicié à l'air neuf.

Les échangeurs enthalpiques sont souvent annoncés avec de meilleurs rendements thermiques que les échangeurs à flux croisés standards.

Cette augmentation de rendement est liée à la condensation de la vapeur d'eau qui se produit dans l'échangeur sur l'air extrait, qui en changeant d'état produit un dégagement de chaleur, ce que l'on appelle la **chaleur latente**.

#### e. Ventilation mécanisée contrôlée à double flux avec puits provençal ou canadien

L'air neuf circule dans une canalisation enterrée dans le sol. Durant ce trajet, cet air récupère les calories contenues dans le sol et pénètre dans la VMC double flux avec une température plus élevée.

L'air entrant à  $-10^{\circ}\text{C}$  dans le puits, atteindra environ  $5^{\circ}\text{C}$  à son entrée dans la VMC.

Le coût de cette installation dépend fortement du moment du terrassement. Ce coût est moindre lorsqu'il est réalisé en même temps que les fondations de la maison.

Principe : à une profondeur de deux mètres, la terre a une température pratiquement constante, aux environs de  $15^{\circ}\text{C}$  en moyenne.

- En hiver, le sol à cette profondeur est plus chaud que la température extérieure, l'air froid est alors préchauffé lors de son passage dans ce circuit sous terrain.

- En été, c'est l'inverse, le sol est naturellement plus frais que l'air extérieur; celui-ci, lors de son passage dans le puits Canadien va se refroidir de façon souvent surprenante.

## 5. Le puits canadien - caractéristiques

### La vitesse de circulation de l'air:

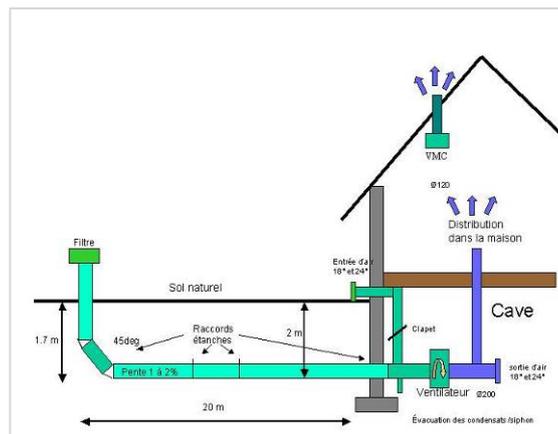
Généralement  $2\text{ m/s}$  dans le puits, car au-delà l'air n'aurait pas le temps d'être réchauffé ou refroidi

### Le diamètre de la conduite:

$20\text{ cm}$  car au-delà l'air risque de circuler « au milieu » du tuyau et donc de ne pas être suffisamment en contact avec la paroi du tuyau.

### La longueur:

Idéalement  $40\text{ m}$  car au-delà il n'y a pas de gain important dans l'échange thermique, on pourra créer deux puits de  $20\text{ m}$  mais il faudra veiller à baisser le débit de l'air dans ceux-ci.



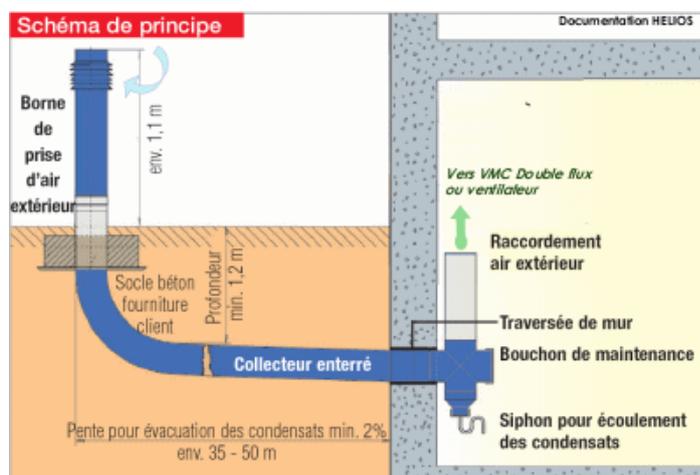
© www.les-energies-renouvelables.eu

Une **condensation** va naturellement se produire lorsque l'air se réchauffera ou refroidira dans le puits. L'eau produite risque de stagner dans les conduits et ainsi rendre le puits Canadien particulièrement malsain.

Des bactéries pathogènes pourront se développer dans ces conditions, polluant l'air de votre maison.

Il est donc impératif de prévoir un système de récupération des condensats.

On préconise généralement une pente des canalisations du puits d'environ  $2\%$ .



© www.construire-sain.com/puitcanadien.htm

## Annexe – La simulation R\_Home - Pertes thermiques dans l'habitat

**R\_Home** est un simulateur qui calcule les pertes thermiques pour une habitation de 100 m<sup>2</sup>, sans cloison, en fonction de différents paramètres :

- pour chaque élément de la construction (murs, plancher, fenêtres etc.), type de matériau, d'isolant, et épaisseur ;
- type de ventilation ;
- température intérieure ;
- localisation de la maison (lieu et altitude).

Affichage des flux, des déperditions et pertes par éléments et pour la maison complète, aux classes de performance et températures de surface.

Pour chaque réglage, vous pouvez visualiser une image simulée d'une caméra thermique.

### Exemples d'écrans R\_Home

Paramétrage de la simulation

Choix des variables à modifier : murs, sous-sol, température, plancher, fenêtre, plafond, ventilation, localisation.

MURS

- matériau : brique pleine
- épaisseur (m) : 0.105
- isolant interne : sans
- épaisseur (m) : 0.000
- crépi externe : sans
- épaisseur (m) : 0.000

Bilan thermique

	U flux thermique (w/m <sup>2</sup> .K)	D déperditions thermiques (w/K)	déperditions totales (w)	%			
murs	3.64	306.9	6752	29.9			
fenêtres	5.05	48.5	1067	4.7			
porte	2.70	5.4	0.4	119	0.5		
plancher	3.56	231.6	5096	22.5			
plafond	4.16	2.8	353.3	1.4	7772	0.6	34.4
ventilation		81.6	1795	7.9			
<b>TOTAL</b>		<b>1027</b>	<b>0.0</b>	<b>22601</b>			

Pertes totales annuelles (kWh) : 41914  
Performance énergétique : Classe F

Echelle de température : 8.0, 3.0, -2.0, -2.0  
Températures de surface en °C

Choix des variables à modifier : murs, sous-sol, température, plancher, fenêtre, plafond, ventilation, localisation.

**Nota** : ce simulateur est disponible sur le catalogue A4 technologie

