	Examen : BACCALAUREAT GENERAL	Terminale
	Spécialité : SERIE S SCIENCES DE L'INGENIEUR	Durée : 1 h 50 mn
	Épreuve : TRAVAIL PRATIQUE DE SCIENCES DE L'INGENIEUR	

Performances énergétiques de deux modes de régulation de température

1. Présentation

Les habitants d'une maison veulent créer une chambre dans des combles dit non aménageables (*figure 1*).

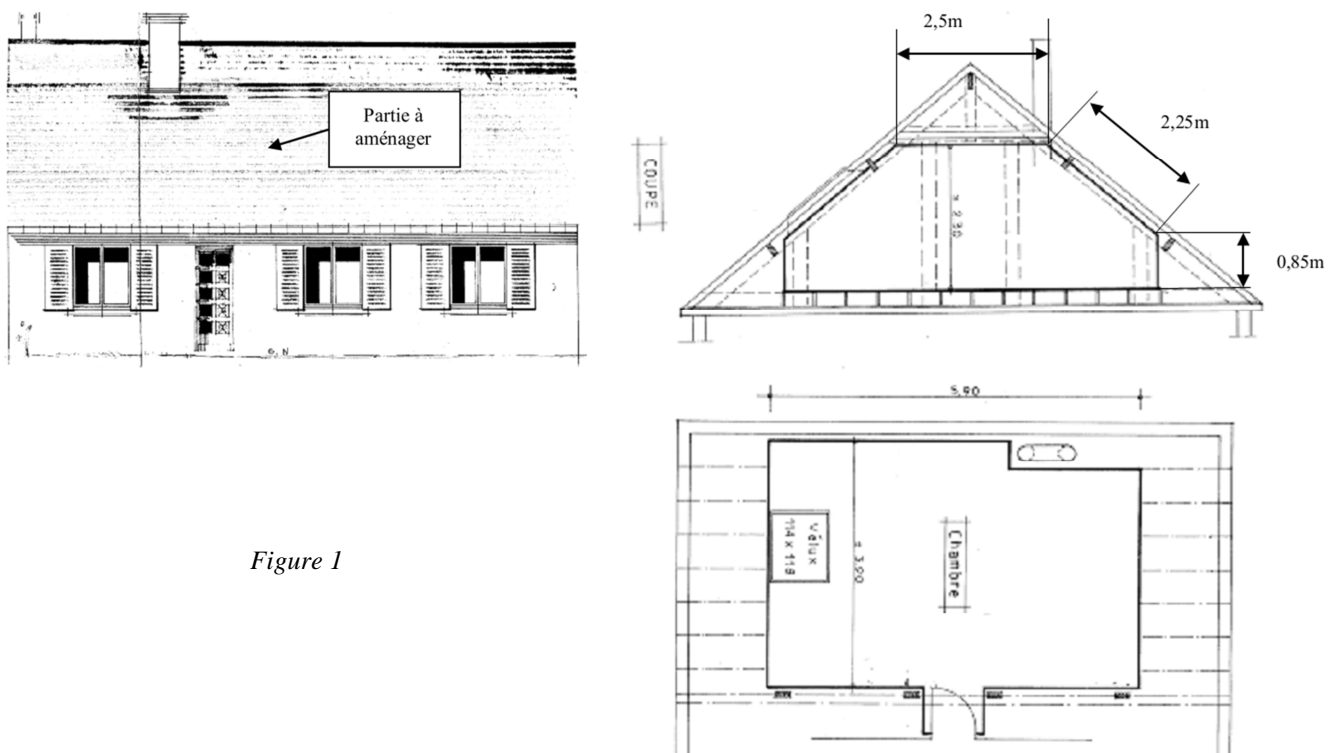


Figure 1

Afin de mener à bien leur projet, les habitants de la maison font appel à une société locale qui leur propose le devis suivant :

Transformation charpente : 3758 euros HT

- Exécution d'une ferme traditionnelle en sapin traité constituée de : entrait, arbalétriers, poinçon, entrait retroussé, jambes de force.
- Tous ces bois assemblés, boulonnés et chevillés suivant la méthode traditionnelle.
- Fourniture et pose de pannes scellées en pignon et fixées sur arbalétriers par étriers métalliques.
- Fixation des arbalétriers de fermette sur pannes.
- Suppression des bois inutiles.
- Exécution d'un solivage en sapin traité.
- Fourniture et pose d'un plancher en dalles agglomérées.

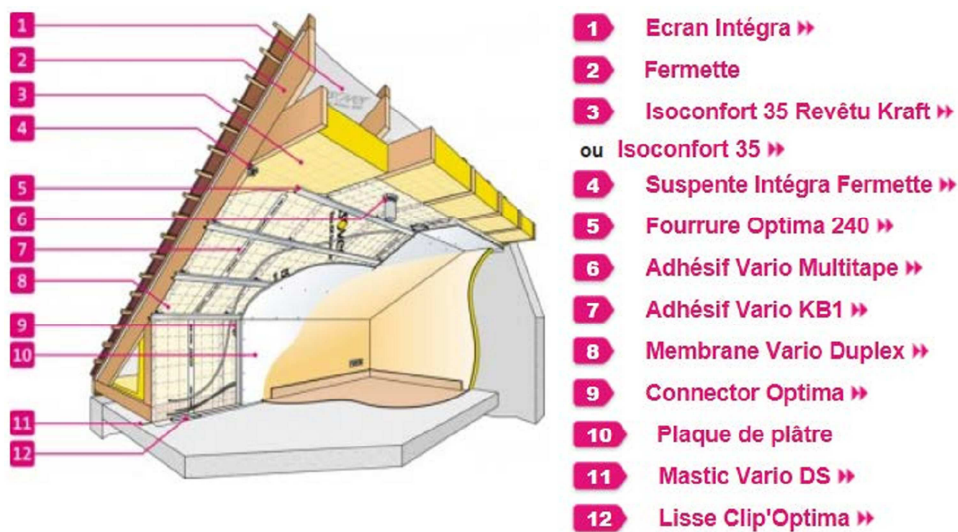
Doublage isolation : 3219 euros HT

- Exécution d'un solivage en sapin traité pour plafond horizontal.
- Exécution d'un plafond horizontal et rampant ainsi que des redressements en plaques de plâtre type BA13 vissées sur ossature métallique OPTIMA compris joints et interposition d'un matelas de laine de verre épaisseur 200 mm avec pare vapeur.

Electricité chauffage : 260 euros HT

- Fourniture et pose d'un appareil de chauffage électrique "rayonnant" compris thermostat numérique incorporé, puissance 2000 Watts.

2. Exemple de technique d'isolation et de doublage



3. Calcul simplifié des déperditions dans la nouvelle pièce

3.1. Calcul des résistances thermiques

3.1.1. Laine de verre

Calculer la **résistance thermique surfacique** R_{thlv} de la laine de verre en $m^2.K/W$, sachant que la conductivité thermique de ce matériau est $\lambda = 0,041 W/m.K$.

.....

.....

3.1.2. BA13 (Plaque de plâtre de 13 mm)

Calculer la **résistance thermique surfacique** R_{thBA13} des plaques de plâtre en $m^2.K/W$, sachant que conductivité thermique de ce matériau est $\lambda = 0,46 W/m.K$.

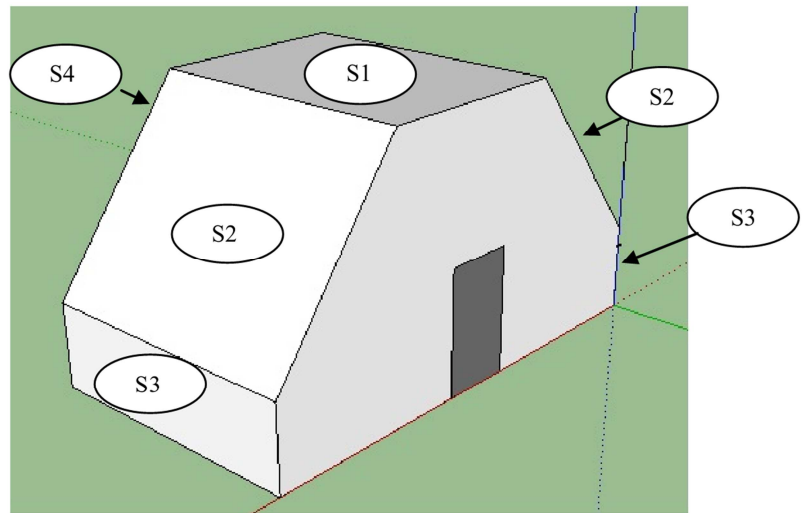
.....

.....

3.2. Calcul des surfaces d'échange

A partir de la *figure 1*, calculer l'aire des *surfaces* S_1 , S_2 , S_3 et S_4 en m^2 .

Reporter les valeurs dans le *tableau 1*.



Surfaces	Calculs des aires (m^2)
S_1	
S_2	
S_3	
S_4	

Tableau 1 : Calculs des aires des surfaces S_1 , S_2 , S_3 et S_4

3.3. Calcul des coefficients de transmission thermique U

Calculer le *coefficient de transmission thermique surfacique* U de chaque paroi en $W/m^2.K$. Reporter les valeurs dans le *tableau 2*. Pour la brique creuse, on prendra $R_{thbrique} = 0,4 m^2.K/W$.

Donnée : $U = 1/R_{th}$

Surfaces	Coefficients de transmission thermique surfacique ($W/m^2.K$)
S_1 (BA13 + laine de verre)	
S_2 (BA13 + laine de verre)	
S_3 (BA13 + laine de verre)	
S_4 (BA13 + laine de verre + brique creuse)	

Tableau 2 : Calculs des coefficients de transmission thermique surfacique des parois

3.4. Calcul du coefficient de déperdition thermique total H

En utilisant les réponses aux questions 3.2 et 3.3, calculer le *coefficient de déperdition thermique H* de la totalité des parois en W/K.

.....

.....

.....

.....

.....

4. Etude de la régulation de température Tout-Ou-Rien (T.O.R.)

4.1. Démarrer le logiciel PSIM. Ouvrir le fichier "*régulation de température T.O.R.psimch*"

4.2. Paramétrer le modèle de la régulation avec la valeur de la *puissance du radiateur* fournie dans le devis et la valeur du *coefficient de déperdition thermique* calculée précédemment.

4.3. *Essai avec cumul de DJU = 2200 (hiver doux)*

On utilise les degrés-jours-unifiés (DJU) pour évaluer la consommation d'énergie pour le chauffage d'une maison. Pour chaque jour, le nombre de DJU est calculé en faisant la différence entre la température de référence (18 °C) et la moyenne des températures minimale et maximale de ce jour. Les DJU sont additionnés sur la période de chauffage de 232 jours (du 1^{er} octobre au 20 mai).

4.3.1. Calculer la *température extérieure moyenne T_{ext}* pour la période de chauffage à l'aide de la formule suivante : $DJU = (18 - T_{ext}) \times 232$.

.....

.....

4.3.2. Régler la *température extérieure moyenne T_{ext}* dans le modèle de la régulation.

4.3.3. Pour une *consigne de température de 20 °C*, simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la *consigne de température* ainsi que celle de la *température dans la pièce* en fonction du temps.

4.3.4. A partir des observations, mesurer, en régime établi, les *températures maximale T_{max}* et *minimale T_{min}* observées dans la pièce.

.....

.....

4.3.5. En déduire la *température moyenne* T_{moy} dans la pièce. Reporter la valeur dans le *tableau 3*.

<i>Consigne de température (°C)</i>	19	20	25
<i>Température moyenne dans la pièce T_{moy} (°C)</i>			
<i>Puissance électrique moyenne P_{moy} (W)</i>			
<i>Energie moyenne E_{moy} (kWh)</i>			

Tableau 3 : Relevés de la température moyenne dans la pièce, de la puissance électrique moyenne consommée et de l'énergie moyenne consommée obtenues pour différentes valeurs de consigne de température

4.3.6. Pour une *consigne de température de 20 °C*, simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la *commande du radiateur* ainsi que celle de la *puissance électrique* fournie (ou consommée, $\eta_{\text{radiateur électrique}} = 1$) par le radiateur en fonction du temps.

4.3.7. A partir des observations et en régime établi, déterminer le *rapport cyclique α* de la puissance électrique fournie par le radiateur.

.....

4.3.8. En déduire la *puissance électrique moyenne P_{moy}* consommée par le radiateur ainsi que l'*énergie moyenne E_{moy}* consommée durant la période de chauffage. Reporter les valeurs dans le *tableau 3*.

4.3.9. Reprendre la simulation et compléter le *tableau 3* pour les autres valeurs de *consigne de température* données.

4.3.10. Comment évolue l'*énergie moyenne E_{moy}* consommée en fonction de la consigne de température ?

.....

4.4. Essai avec cumul de DJU = 3000 (hiver rude)

4.4.1. Calculer la *température extérieure moyenne T_{ext}* pour la période de chauffage.

.....

4.4.2. Régler la *température extérieure moyenne* T_{ext} dans le modèle de la régulation.

4.4.3. Pour une *consigne de température de 20 °C*, simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la *consigne de température* ainsi que celle de la *température dans la pièce* en fonction du temps.

4.4.4. A partir des observations, mesurer, en régime établi, les *températures maximale* T_{max} et *minimale* T_{min} observées dans la pièce.

.....

.....

4.4.5. En déduire la *température moyenne* T_{moy} dans la pièce. Reporter la valeur dans le *tableau 4*.

<i>Consigne de température (°C)</i>	19	20	25
<i>Température moyenne dans la pièce T_{moy} (°C)</i>			
<i>Puissance électrique moyenne P_{moy} (W)</i>			
<i>Energie moyenne E_{moy} (kWh)</i>			

Tableau 4 : Relevés de la température moyenne dans la pièce, de la puissance électrique moyenne consommée et de l'énergie moyenne consommée obtenues pour différentes valeurs de consigne de température

4.4.6. Pour *une consigne de température de 20 °C*, simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la *commande du radiateur* ainsi que celle de la *puissance électrique* fournie (ou consommée, $\eta_{radiateur\ électrique} = 1$) par le radiateur en fonction du temps.

4.4.7. A partir des observations et en régime établi, déterminer le *rapport cyclique* α de la puissance électrique fournie par le radiateur.

.....

.....

4.4.8. En déduire la *puissance électrique moyenne* P_{moy} consommée par le radiateur ainsi que l'*énergie moyenne* E_{moy} consommée durant la période de chauffage. Reporter les valeurs dans le *tableau 4*.

4.4.9. Reprendre la simulation et compléter le *tableau 4* pour les autres valeurs de *consigne de température* données.

4.5. Comment évolue l'*énergie moyenne* E_{moy} consommée en fonction des degrés-jours-unifiés (DJU) ?

.....

.....
.....

5. Etude de la régulation de température Proportionnelle Intégrale (PI)

5.1. Démarrer le logiciel PSIM. Ouvrir le fichier "*régulation de température proportionnelle intégrale.psimch*"

5.2. Paramétrer le modèle de la régulation avec la valeur de la *puissance du radiateur* fournie dans le devis et la valeur du *coefficient de déperdition thermique* calculée précédemment.

5.3. Essai avec cumul de DJU = 2200 (hiver doux)

5.3.1. Régler la *température extérieure moyenne* T_{ext} dans le modèle de la régulation et la *consigne de température* à 20 °C.

Réglage des actions du régulateur PI

Il existe *différentes méthodes* de réglage des actions d'un régulateur PI (méthodes par approches successives, Méthode de Ziegler et Nichols, ...). Suivant le système à réguler et les contraintes de fabrication, on choisira l'une ou l'autre des méthodes.

Dans la suite de l'étude, on utilise la *Méthode par approches successives (méthode empirique ou méthode du régleur)*. Elle consiste à modifier les actions du régulateur et à observer leurs effets sur la commande ou la mesure, jusqu'à obtenir la réponse optimale. On règle l'action *proportionnelle (P)*, puis l'action *intégrale (I)*. Cette technique de réglages présente l'intérêt d'être *simple* et applicable à *tout type de système*. Du fait de sa simplicité, c'est une méthode *très utilisée*. Néanmoins du fait de son caractère itératif, son application devient longue sur des systèmes à grande inertie (système lent).

5.3.2. Réglage de l'action proportionnelle du régulateur PI :

- Placer le régulateur en *action proportionnelle P* seul, ($T_i = \text{maximum}$, "Time constant" = 9e99).
- Fixer un gain G_r *faible* ($G_r < 1$, "Gain" < 1).
- Simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la *puissance électrique* fournie (ou consommée) par le radiateur en fonction du temps :
 - Si la puissance électrique maximale est *inférieure* à la *puissance maximale* du radiateur (puissance du radiateur fournie dans le devis) : augmenter le gain G_r .
 - Si la puissance électrique maximale est *égale* à la *puissance maximale* du radiateur : diminuer le gain G_r .
- Recommencer la manipulation de manière à obtenir une *puissance électrique satisfaisante*.

5.3.3. Pour le réglage satisfaisant de l'action proportionnelle, simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la **consigne de température** ainsi que celle de la **température dans la pièce** (mesure) en fonction du temps.

5.3.4. Déterminer l'**écart absolu** puis l'**écart relatif de précision** de la température dans la pièce (mesure) par rapport à la consigne de température.

.....

.....

5.3.5. La régulation de température utilisant un régulateur à **action proportionnelle seule** est-elle satisfaisante ?

.....

.....

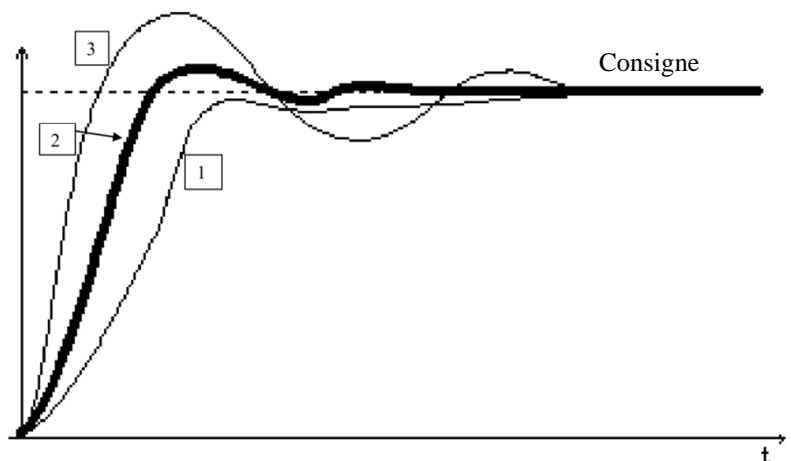
5.3.6. Réglage de l'action intégrale du régulateur PI :

- Conserver la **valeur du gain** G_r déterminée précédemment.
- Fixer une constante de temps d'action intégrale T_i **grande** (T_i égal à plusieurs minutes, "Time constant" = plusieurs minutes).
- Simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la **consigne de température** ainsi que celle de la **température dans la pièce** (mesure) en fonction du temps :
 - S'il existe un **écart résiduel** entre la mesure et la consigne ou si la réponse est **apériodique** (aucun dépassement par rapport à sa valeur finale) ou trop **lente** : diminuer la constante de temps d'action intégrale T_i .
 - Si la réponse présente un **dépassement trop important** : augmenter la constante de temps d'action intégrale T_i .
- Recommencer la manipulation de manière à obtenir une **température dans la pièce** (mesure) **satisfaisante**.

Il est parfois nécessaire de réaliser de nombreux essais afin d'obtenir les réponses ci-contre.

Réponse à une consigne :

- 1 : avec action intégrale trop faible
- 2 : avec action intégrale correcte
- 3 : avec action intégrale trop forte



Analysons les réponses obtenues afin de déterminer le réglage optimal :

- Pour la réponse 1, la constante de temps d'action intégrale T_i est trop grande, l'action intégrale est trop faible. **La précision et la rapidité ne sont pas bonnes.**
- Pour la réponse 3, la constante de temps d'action intégrale T_i est trop petite, l'action intégrale est trop forte. **La stabilité se dégrade.**
- Pour la réponse 2, la constante de temps d'action intégrale T_i est correct. L'action intégrale est correcte.

⇒ **Il faut trouver le meilleur compromis entre stabilité, précision et rapidité.**

5.3.7. Pour le réglage satisfaisant de l'action intégrale, par conséquent du régulateur PI, et pour **une consigne de température de 20 °C**, déterminer en régime établi ou permanent, la **température moyenne T_{moy}** dans la pièce. Reporter la valeur dans le **tableau 5**.



Consigne de température (°C)	19	20	25
Température moyenne dans la pièce T_{moy} (°C)			
Puissance électrique moyenne P_{moy} (W)			
Energie moyenne E_{moy} (kWh)			

Tableau 5 : Relevés de la température moyenne dans la pièce, de la puissance électrique moyenne consommée et de l'énergie moyenne consommée obtenues pour différentes valeurs de consigne de température

5.3.8. Pour **une consigne de température de 20 °C**, simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la **puissance électrique** fournie (ou consommée) par le radiateur en fonction du temps.

5.3.9. A partir des observations et en régime permanent, déterminer la **puissance électrique moyenne P_{moy}** consommée par le radiateur ainsi que l'**énergie moyenne E_{moy}** consommée durant la période de chauffage. Reporter les valeurs dans le **tableau 5**.

5.3.10. Reprendre la simulation et compléter le **tableau 5** pour les autres valeurs de **consigne de température** données.

 **Attention**  Le paramétrage des actions proportionnelle et intégrale du régulateur, obtenu pour une consigne de température donnée (point de fonctionnement choisi), peut ne plus être efficace et robuste pour une consigne de température différente. L'étude du régulateur ainsi que le réglage de ses différentes actions peut alors s'avérer nécessaire à chaque changement du point de fonctionnement.

5.4. Essai avec cumul de DJU = 3000 (hiver rude)

5.4.1. Régler la *température extérieure moyenne* T_{ext} dans le modèle de la régulation et la *consigne de température* à 20 °C.

5.4.2. Régler l'*action proportionnelle* du régulateur PI.

5.4.3. Pour le réglage satisfaisant de l'action proportionnelle, simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la *consigne de température* ainsi que celle de la *température dans la pièce* (mesure) en fonction du temps.

5.4.4. Déterminer l'*écart absolu* puis l'*écart relatif de précision* de la température dans la pièce (mesure) par rapport à la consigne de température.

5.4.5. Régler l'*action intégrale* du régulateur PI.

5.4.6. Pour le réglage satisfaisant de l'action intégrale, par conséquent du régulateur PI, et pour *une consigne de température de 20 °C*, déterminer en régime établi ou permanent, la *température moyenne* T_{moy} dans la pièce. Reporter la valeur dans le *tableau 6*.

<i>Consigne de température (°C)</i>	19	20	25
<i>Température moyenne dans la pièce T_{moy} (°C)</i>			
<i>Puissance électrique moyenne P_{moy} (W)</i>			
<i>Energie moyenne E_{moy} (kWh)</i>			

Tableau 6 : Relevés de la température moyenne dans la pièce, de la puissance électrique moyenne consommée et de l'énergie moyenne consommée obtenues pour différentes valeurs de consigne de température

5.4.7. Pour *une consigne de température de 20 °C*, simuler le fonctionnement de la régulation et observer l'évolution de la *puissance électrique* fournie (ou consommée) par le radiateur en fonction du temps.

5.4.8. A partir des observations et en régime permanent, déterminer la *puissance électrique moyenne* P_{moy} consommée par le radiateur ainsi que l'*énergie moyenne* E_{moy} consommée durant la période de chauffage. Reporter les valeurs dans le *tableau 6*.

5.4.9. Reprendre la simulation et compléter le *tableau 6* pour les autres valeurs de *consigne de température* données.

6. Comparaison des deux types de régulation de température et conclusion

6.1. Pour *une consigne de température de 20 °C*, reporter dans le *tableau 7* les résultats obtenus aux questions précédentes.

	Régulation T.O.R.		Régulation PI	
	Hiver doux	Hiver rude	Hiver doux	Hiver rude
<i>Température moyenne dans la pièce T_{moy} ($^{\circ}C$)</i>				
<i>Puissance électrique moyenne P_{moy} (W)</i>				
<i>Energie moyenne E_{moy} (kWh)</i>				
<i>Coût énergétique (€) (15 centimes d'euro / kWh)</i>				

Tableau 7 : Relevés de la température moyenne dans la pièce, de la puissance électrique moyenne consommée, de l'énergie moyenne consommée et du coût énergétique obtenus pour un hiver doux et un hiver rude avec deux types de régulation

6.2. Conclure sur l'intérêt de l'un des types de régulation par rapport à l'autre.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....