



HAL
open science

TULIP Chauffage d'une voiture électrique

Cédric Milvaque, Françoise Monchoux, Françoise Thellier

► **To cite this version:**

Cédric Milvaque, Françoise Monchoux, Françoise Thellier. TULIP Chauffage d'une voiture électrique. [Rapport de recherche] Université toulouse 3 Paul Sabatier. 1998. hal-02177125

HAL Id: hal-02177125

<https://hal.science/hal-02177125>

Submitted on 8 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

TULIP Chauffage d'une voiture électrique

MILVAQUE Cédric., MONCHOUX Françoise., THELLIER Françoise.

Contrat industriel financé par : **PSA Peugeot Citroën**

Réalisé au LESETH

Laboratoire Etudes des Systèmes et Environnement Thermique de l'Homme

Université Paul Sabatier - 118, Route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex

6 Rapports :

- n° 1-janvier 1997,
- n°2-mai 1997,
- n°3-juillet 1997,
- n°4-octobre 1997,
- n°5-janvier 1998,
- Rapport final-octobre 1998.

UNIVERSITE PAUL SABATIER



Chauffage d'une voiture électrique

Tulip

Rapport d'avancement n°1

Janvier 1997

CONFIDENTIEL

Laboratoire d'Etudes des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

Alain CORDIER, Cédric MILVAQUE, Françoise MONCHOUX, Françoise THELLIER

SOMMAIRE

	<i>Page :</i>
1 Introduction	4
2. MATHER	5
2.1 Description globale du modèle	5
2.2 Transferts conducteur-habitacle	7
2.2.1 Le siège.....	7
2.2.2 Echanges convectifs et vitesses d'air.....	8
2.3 Rayonnement infrarouge	9
2.3.1 Géométrie de l'ensemble et calcul des facteurs de forme	9
2.3.2 Modèle d'échanges radiatifs.....	10
2.4 Rayonnement Solaire	10
2.5 La représentation des vêtements	11
2.5.1 Evolution du modèle vêtement.....	11
2.5.2 Les échanges au niveau des vêtements.....	12
2.6 Les sensations	14
2.7 Conclusion	15
3 Réduction des mesures nécessaires à la simulation	16
3.1 Températures de surface	16
3.2 Températures d'air	19
3.3 Vitesses d'air	19
3.4 Données sur l'habitacle	20

3.5 Récapitulatif des mesures nécessaires	20
3.6 Validation de la réduction des mesures.....	21
4 Préparation des expériences	24
4.1 Description des vêtements choisis.....	24
4.2 Instrumentation de la voiture.....	26
4.2.1 Températures de surface.....	26
4.2.2 Températures d'air	26
4.2.3 Vitesses d'air.....	27
4.2.4 Humidité relative	27
4.3 Évaluation des sensations.....	28
4.4 Remarques et recommandations.....	29
5 Echanges radiatifs	30
5.1 Méthode MATHER.....	30
5.2 Calcul des facteurs de vue	30
Bibliographie	31

Annexe

1 Introduction

L'étude du chauffage dans un véhicule électrique utilise comme base de travail un modèle de thermorégulation humaine et d'évaluation des sensations thermiques pour un homme dans un véhicule. Ce modèle appelé MATHER a été développé par le LESETH lors d'une étude précédente en collaboration avec PSA et VALEO. Il a été validé pour la ZX. Il permet d'obtenir toutes les données physiologiques globales et locales d'un individu soumis à une ambiance thermique hétérogène. Les grandeurs physiologiques globale et locales sont traduites en sensations thermiques globale et locales. Le modèle s'appuie sur des résultats expérimentaux. Tout ce qui concerne ce modèle (hypothèses, définition des paramètres et des variables, etc ...) se trouve dans le rapport final MATHER.

La première étape du travail consiste à établir l'attente des occupants d'un véhicule électrique en matière de chauffage. Pour cela, des expériences in-situ seront menées en hiver. Cela demande une réduction de l'instrumentation du véhicule par rapport aux expériences en soufflerie. Nous nous sommes donc attachés à réduire le nombre d'entrées nécessaires au modèle. Toutes ces données physiques expérimentales seront utilisées pour effectuer les simulations qui, conjointement avec les résultats des observations du LAA, permettront d'établir les besoins de chauffage dans un véhicule électrique.

Il nous a semblé utile dans la première partie de ce rapport, d'exposer les principales caractéristiques du modèle MATHER afin de mieux cerner par la suite son évolution. On décrit notamment les transferts thermiques entre le conducteur et l'habitacle. La deuxième partie du rapport concerne la réduction des mesures nécessaires à la simulation. On présente les résultats de simulation avec et sans modifications des entrées du modèle. La dernière partie traite de la préparation des expériences notamment de la nature et de l'emplacement des différents capteurs.

2. MATHER

2.1 Description globale du modèle

Le modèle MATHER (MANnequin THERmique) est issu des modèles de thermorégulation humaine [1] et de sensations thermiques [2], développés au laboratoire et validés dans des conditions de l'habitat, auxquels nous avons apporté de nombreuses modifications afin de les adapter aux conditions particulières du véhicule.

MATHER est un modèle à 29 nœuds : 7 segments (tête, tronc, bras droit, bras gauche, mains, jambes et pieds) (fig. 2.1). Chaque segment est subdivisé en 4 couches et le flux sanguin relie toutes les couches entre elles. Tous les transferts thermiques à l'intérieur du corps humain et à la surface de la peau sont calculés en tenant compte des réactions physiologiques (transpiration, frissons,...) que l'individu met en jeu pour faire face aux contraintes de son environnement.

D'autre part, le modèle donne une estimation subjective de confort sur une échelle thermosensorielle en 9 points :

1 : très froid ; 2 : froid ; 3 : frais ; 4 : confort frais ; 5 : confort ;
6 : confort chaud ; 7 : chaud ; 8 : très chaud ; 9 : étouffant

Les sensations locales sont calculées par des relations empiriques faisant intervenir les températures cutanées locales et la température d'air inspiré. Ces relations sont basées sur de nombreux résultats expérimentaux. Ces sensations ne représentent pas la réponse d'un consommateur moyen ; elles permettent d'évaluer comment un climat thermique peut être ressenti par un être humain particulier, l'essayeur ayant participé à toutes les campagnes expérimentales.

Notre but n'est pas de simuler la thermique de l'habitacle, mais uniquement les effets des conditions climatiques sur un sujet. Les entrées de MATHER, provenant d'expériences ou d'autres modèles, sont les suivantes (fig. 2.2) :

- les flux radiatifs (F_{ray}) :
 - les flux infrarouge sont calculés par un modèle spécifique à partir des températures de surface de l'habitacle (mesurées) et du conducteur (calculées),
 - les flux solaires sont entrés d'après les valeurs expérimentales.
- l'humidité relative dans l'habitacle,
- le métabolisme estimé du sujet,
- les températures d'air (T_{air}) à proximité des 7 segments du corps,
- les vitesses d'air (V_{air}) à proximité des 7 segments.

Les sorties principales sont les températures cutanées locales et moyenne (T_{sk}), les températures de surface des vêtements (T_{cl}) et les sensations thermiques locales et globale ($Sens$). De très nombreuses variables sont disponibles, par exemple les flux échangés par convection, le rayonnement ou l'évaporation sur chaque segment. Ceci permet d'étudier en détail les modes d'échanges prépondérants sur chaque segment.

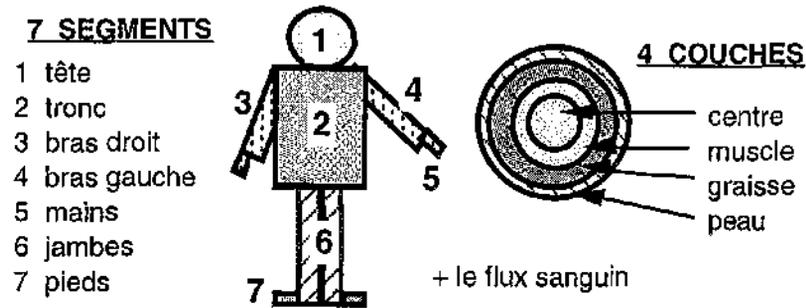


Fig. 2.1 : Description du modèle

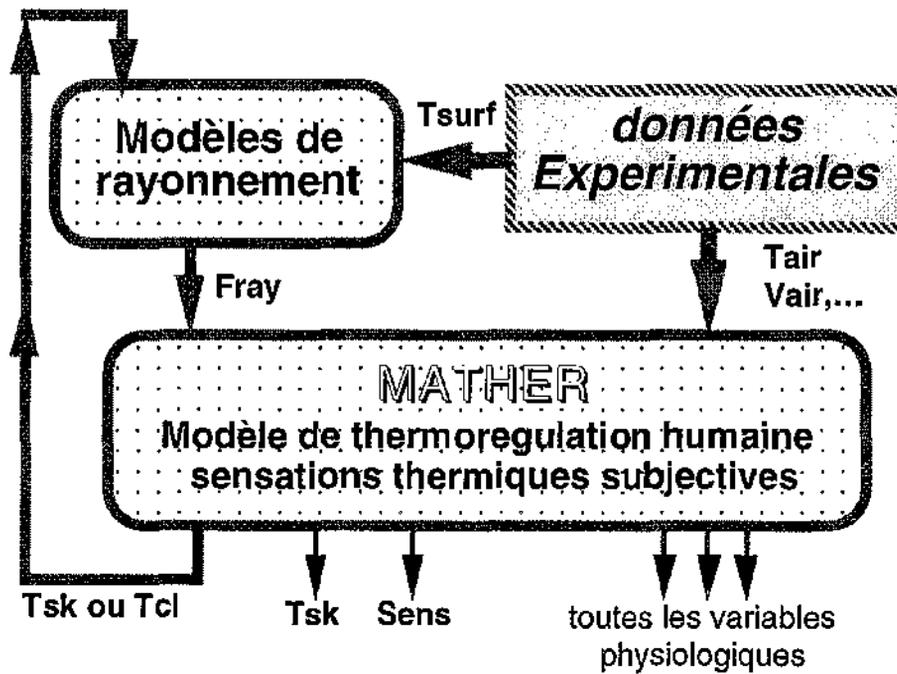
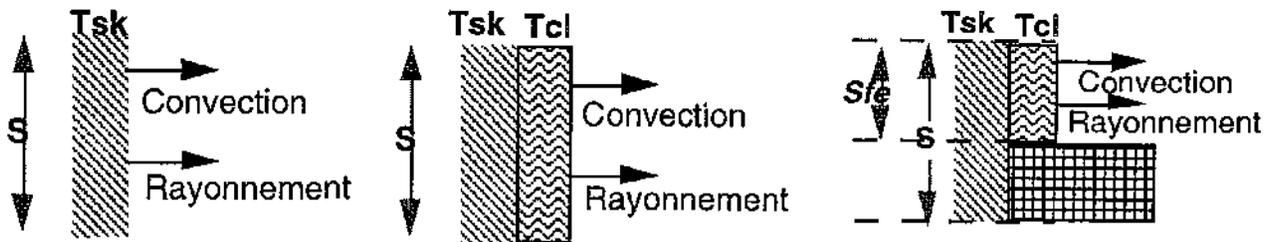


Fig. 2.2 : Schématisation des entrées-sorties du modèle MATHER

L'ensemble des hypothèses faites pour l'établissement des modèles est présentée dans l'annexe.

2.2 Transferts conducteur-habitacle

Pour le calcul des transferts de chaleur et de masse entre le conducteur et la voiture, trois configurations sont envisagées : un segment peut être nu, vêtu, ou en contact avec le siège.



A : cas d'un segment nu

B : cas d'un segment vêtu

C : cas d'un segment vêtu en contact avec le siège

- A* Segment nu : les échanges ont lieu sur une surface S de peau à température T_{sk}
- B* Segment vêtu : les échanges ont lieu sur une surface $S.fcl$ de vêtement à température T_{cl}
- C* Segment vêtu en contact avec le siège : les échanges avec l'air ambiant ont lieu sur une surface S_{fe} de vêtement à température T_{cl} . Les échanges avec le siège ont lieu sur une surface S_{cont} .

$$S_{fe}(i) = S(i) fcl(i) (1 - P_{cont}(i))$$

$$S_{cont}(i) = S(i) \cdot P_{cont}(i)$$

$S(i)$	surface du segment i
$S_{fe}(i)$	surface d'échange avec l'extérieur pour le segment i
$S_{cont}(i)$	surface d'échange avec le siège pour le segment i
$P_{cont}(i)$	fraction de la surface (i) en contact avec le siège
$fcl(i)$	coefficient d'augmentation de surface due aux vêtements

Remarque : Nous n'avons pas envisagé le cas du segment nu en contact avec le siège, car les segments nus sont uniquement la tête et les mains.

2.2.1 Le siège

Lors des expériences, nous avons placé un fluxmètre dans le dos du conducteur, pour estimer le flux de chaleur perdu à ce niveau. En fait, ce flux est assez important dans les premiers instants, au moment où le conducteur s'assied sur le siège, mais il s'annule très rapidement, en quelques minutes. En première approximation, nous avons donc considéré que le siège est un parfait isolant thermique, et que le flux perdu par le dos en contact avec le siège est nul. En ce qui concerne les transferts d'humidité, dans les conditions que nous avons étudiées jusqu'à présent, le conducteur transpire peu ; d'autre part, l'humidité relative de l'air est faible. Nous avons donc pris en première hypothèse que le siège ne limite pas les transferts d'humidité, et que toute l'eau produite au niveau de la peau peut être évaporée dans le tissu du siège ou des vêtements.

Ces hypothèses ne sont valables que pour les conditions d'hiver et en régime permanent. Pour les conditions d'été lorsque le sujet transpire davantage, il est impossible de négliger l'absorption d'eau dans le tissu lui-même et donc son effet limitatif sur l'évaporation de la sueur.

Remarque : Par ailleurs, le LESETH a développé une étude sur les transferts de masse et de chaleur dans le siège en régime dynamique. Pour cela, on a fait apparaître un huitième segment en distinguant sur le tronc la partie en contact avec le siège. Ces travaux seront considérés en temps voulu et éventuellement utilisés.

2.2.2 Echanges convectifs et vitesses d'air

Les échanges convectifs sont importants puisqu'en hiver ils représentent environ la moitié des échanges de chaleur. D'autre part il faut noter que même si l'air chaud pulsé réchauffe les parois, l'augmentation de la température d'air est le seul moyen actuellement connu pour atteindre des conditions de confort lorsque les températures de surface sont très basses.

Il est donc important de connaître les vitesses d'air avec une bonne précision. Le logiciel de calcul aéraulique n'étant pas encore disponible, nous avons mesuré les vitesses d'air au voisinage du conducteur dans les différentes configurations de soufflage dans la voiture.

Les mesures de vitesse d'air ont été effectuées à l'aide d'un anémomètre à fil chaud :

- La voiture est dans une pièce close, sans vent et la température ambiante est d'environ 20°C.
- Le pulseur d'air de la voiture est alimenté par une alimentation stable de 12, 8 ou 4 volts.
- Les différents types de soufflage ont été testés (dégivrage, pieds-dégivrage, ...).
- Le moteur de la voiture est arrêté.

Pour 12 configurations nous avons relevé la vitesse d'air en 12 points qui correspondent aux points de mesure des températures d'air relevées au voisinage du conducteur.

Les échanges convectifs sont calculés d'après l'expression :

$$\Phi_{\text{conv}(i)} = h_c(i)(T_{\text{cl}(i)} - T_{\text{air}(i)}) \quad (\text{W/m}^2)$$

$T_{\text{air}(i)}$ température de l'air mesurée à proximité du segment i au cours de chaque expérience

$T_{\text{cl}(i)}$ température de surface des vêtements calculée par le modèle,

$h_c(i) = h_{c1}(i) + (h_{c2}(i) V_{\text{air}(i)}^2)^{1/3}$. Cette expression a été établie pour l'habitat. Selon plusieurs auteurs l'exposant peut varier selon le type d'écoulement, de même que les valeurs de $h_{c1}(i)$ et $h_{c2}(i)$.

La vitesse d'air n'ayant pas été mesurée au cours des expériences en soufflerie, elle est considérée comme une fonction de la tension du pulseur et du mode de soufflage. Les infiltrations parasites ont été négligées (voiture neuve). En fait, la vitesse d'air est influencée par la vitesse du vent dans la veine (représentant la vitesse de déplacement du véhicule) et les variations de la tension du pulseur avec la vitesse du moteur. Nous n'en avons pas tenu compte.

Il faut noter que ce coefficient de convection h_c intervient dans les échanges convectifs et également dans les échanges évaporatifs. Son manque de précision est plus gênant pour les conditions d'été que pour celles d'hiver.

2.3 Rayonnement infrarouge

Etant donné la proximité des surfaces qui peuvent être à des températures très différentes les unes des autres, il faut calculer avec précision les échanges radiatifs dans l'infrarouge.

Le calcul des échanges radiatifs est décomposé en deux parties : le calcul des facteurs de forme, purement géométrique, puis le bilan radiatif entre les différentes surfaces à partir des facteurs de formes. Les deux étapes sont exécutées séparément.

2.3.1 Géométrie de l'ensemble et calcul des facteurs de forme

A partir du fichier C.A.O. de la ZX et de celui d'un mannequin, nous avons réalisé une géométrie spécifique au calcul des transferts radiatifs entre le conducteur et la voiture. Nous avons cependant dû faire certaines hypothèses, afin de simplifier la géométrie complexe de l'ensemble :

- Etant donné qu'il n'y a pas de transferts radiatifs sur les surfaces du conducteur qui sont en contact avec le siège, nous avons supprimé ces parties inutiles au calcul du rayonnement.
- Pour des raisons évidentes, il est important de décrire finement la géométrie des surfaces qui "voient" le plus le conducteur. Ainsi la partie avant de l'habitacle est restée proche de la réalité alors que la partie arrière a été largement simplifiée.

A partir de cette géométrie, les facteurs de formes sont calculés par intégration numérique, après avoir regroupé les différentes surfaces ayant des températures identiques. Chaque surface devant être isotherme, nous avons tenu compte des différentes répartitions en températures mesurées.

La géométrie obtenue comprend environ 300 surfaces élémentaires différentes, que nous avons regroupées en 27 familles de température : 20 pour le véhicule et 7 pour le conducteur. Nous obtenons une matrice de facteur de forme de dimension 27×27 . La valeur des facteurs de formes "surfaces habitacle => surfaces conducteur" permet d'avoir une idée de l'influence qu'aura chaque surface sur les échanges radiatifs. Les facteurs de forme $F(i,i)$ ne sont pas nuls, car il s'agit de groupe de surfaces qui ne sont pas toujours coplanaires. Le temps de calcul de ces facteurs de forme est assez long (60h. sur SUN), mais en fait il n'est réalisé qu'une fois, puis stocké dans un fichier qui sera utilisé par le modèle d'échanges radiatifs.

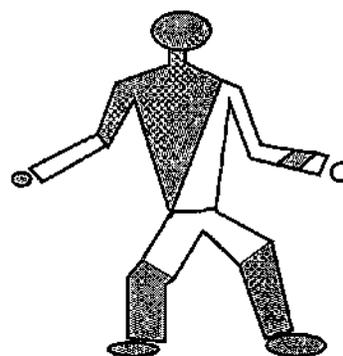
2.3.2 Modèle d'échanges radiatifs

La méthode de calcul est basée sur les flux nets. Nous en rappelons les hypothèses :

- Les surfaces sont opaques au rayonnement infrarouge, elles sont grises et diffusantes en émission et en réflexion.
- Leurs propriétés radiatives sont indépendantes de la direction d'émission.
- Chaque surface considérée est isotherme, la surface i est à température T_i
- Le flux incident venant des autres surfaces est réparti uniformément.
- L'air traversé par le rayonnement est considéré comme parfaitement transparent. Il ne participe donc pas aux échanges.

2.4 Rayonnement Solaire

Pour le rayonnement solaire nous disposons uniquement des valeurs de densité de flux mesurées, sur le véhicule et sur le conducteur, lors des expériences en soufflerie. A partir de ces densités de flux reçues sur chaque segment corporel, nous avons calculé les flux reçus par chaque segment en fonction du pourcentage de surface éclairée estimée.



Les parties blanches correspondent aux zones éclairées.

Les Graphes ci-dessous donnent les valeurs mesurées à l'aide d'un pyranomètre en fonction de la puissance d'alimentation des lampes (P_{lampes}). On peut noter que l'évolution des flux mesurés n'est pas linéaire en fonction de la puissance des lampes, certaines valeurs sont très certainement fausses, à cause d'une mauvaise orientation du pyranomètre, ou un léger déplacement entre deux mesures.

Nous avons utilisé les expressions suivantes pour calculer les densités de flux locales :

$$\Phi_{\text{tronc}} = \frac{(\Phi_{\text{épaule}} + \Phi_{\text{ventre}})}{2}$$

$$\Phi_{\text{mains}} = \frac{(\Phi_{\text{mains,D}} + \Phi_{\text{mains,G}})}{2}$$

$$\Phi_{\text{jambes}} = \frac{(\Phi_{\text{cuisse,D}} + \Phi_{\text{cuisse,G}})}{2}$$

avec ϕ : Densité de flux mesurée

Si on considère que le flux reçu sur la portion éclairée d'un segment est uniformément réparti sur toute la surface de celui-ci, on peut alors, à partir des densités de flux reçues sur ce segment corporel (i), calculer les flux en fonction de la fraction de surface éclairée estimée, par l'expression suivante :

$$\Phi_{\text{segment}(i)} = \varphi_{\text{segment}(i)} \text{Sur}_{\text{segment}(i)} \cdot \text{FSur}_{\text{segment}(i)}$$

Φ : Flux solaire reçu

φ : Densité de flux mesurée sur la portion éclairée

Sur : Surface du segment

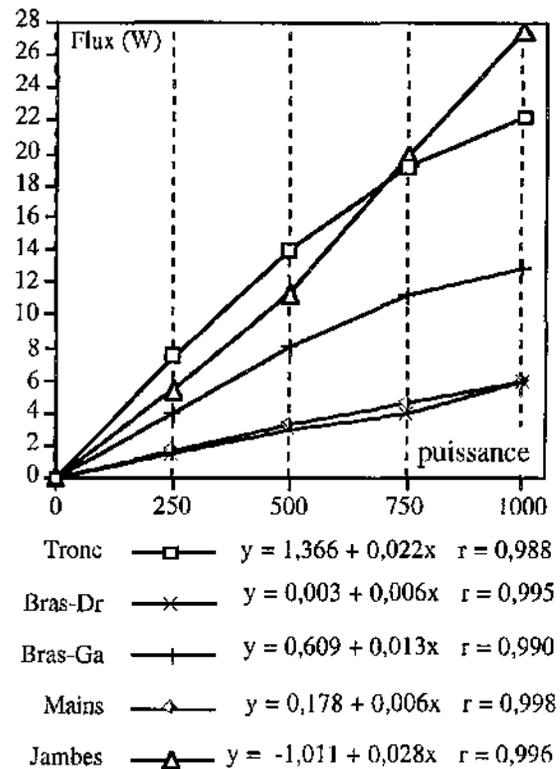
FSur :

Fraction de Surface éclairée du segment

$$\varphi_{\text{segment}(i)} = A_{(i)} P_{\text{Lamp}}$$

$A_{(i)}$: coefficient de corrélation

Ces relations nous ont permis de tracer les courbes ci-contre.



Flux reçu sur chaque segment en fonction de la puissance d'alimentation des lampes.

En situation réelle le flux solaire sera un paramètre impossible à mesurer et devra être minimisé au maximum.

2.5 La représentation des vêtements

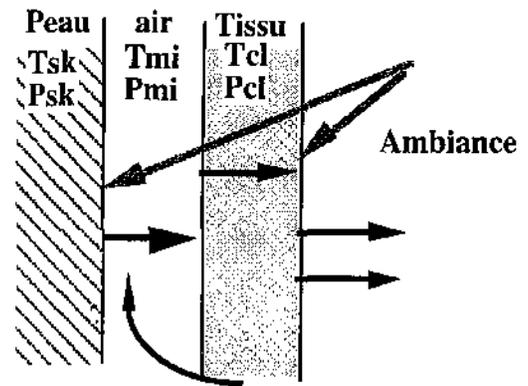
2.5.1 Evolution du modèle vêtement

Les vêtements étant le lieu de tous les échanges avec le milieu environnant, il est important de déterminer avec exactitude leur température et leur humidité. Des modifications sur la représentation des vêtements ont été imposées par l'apparition de problèmes liés au manque de données sur les caractéristiques locales des vêtements. Nous nous sommes tournés vers une description plus fine nécessitant les caractéristiques des tissus. Ces données sont assez nombreuses mais pas toutes accessibles, il faut alors faire des hypothèses sur la composition exacte des habits portés par l'essayeur.

Dans une première approche, le vêtement était composé d'une couche unique collée contre la peau et les transferts de masse et de chaleur étaient calculés en régime permanent et découplés. Puis la ventilation sous vestimentaire a été ajoutée, en considérant la présence d'une lame d'air entre le tissu et la peau, les transferts de masse étant toujours représentés par des équations de régime permanent.

2.5.2 Les échanges au niveau des vêtements

Pour la plupart des segments, les échanges avec le milieu environnant ont lieu sur la surface des vêtements. Pour améliorer la prise en compte des habits dans le modèle on divise la couche de vêtements en deux : une couche d'air entre la peau et le tissu puis une couche de tissu. Chaque couche est homogène et isotherme, les transferts entre deux couches ont lieu à l'interface. Dans la couche d'air on suppose qu'il y a un débit d'air qui dépend des ouvertures des vêtements, de leur perméabilité à l'air et de la vitesse du vent à la surface des vêtements.

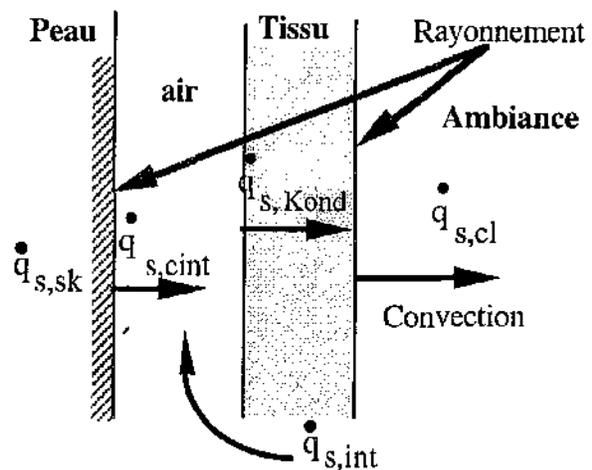


Transferts de chaleur sensible :

Il faut noter que dans cette nouvelle version nous tenons compte du rayonnement solaire, qui arrive à la surface des vêtements mais dont une partie atteint la peau en passant à travers le tissu.

• $\dot{q}_{s,sk}$ Transferts au niveau de la peau. La peau est en contact avec le milieu intérieur et reçoit une part de rayonnement passant à travers le tissu :

$$\dot{q}_{s,sk} = \dot{q}_{s,cin} + Ray_{sk}$$



Représentation schématique des transferts de chaleur

* $\dot{q}_{s,cin}$: échange convectif entre la peau et l'air sous vestimentaire.

* Ray_{sk} : somme du rayonnement solaire et infra rouge, calculé en fonction de la température de peau, qui passent à travers le tissu, il faut alors tenir compte de sa transparence.

• $\dot{q}_{s,int}$ La convection interne sous vestimentaire est due au renouvellement d'air sous-vestimentaire et dépend des caractéristiques de l'air et de son débit, donc de la coupe et de la porosité du vêtement.

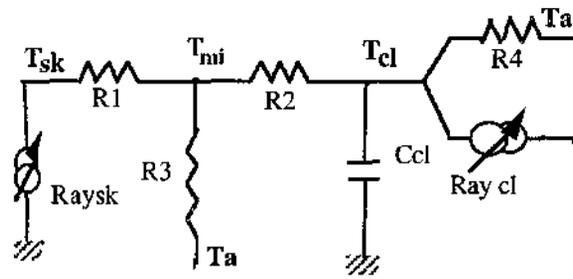
• $\dot{q}_{s,Kond}$ La conduction à travers le tissu dépend de la conductivité thermique du tissu lui même.

• $\dot{q}_{s,cl}$ Transferts à la surface du tissu : $\dot{q}_{s,cl} = Conv + Ray_{cl}$

* Conv : Convection à la surface du tissu, qui dépend de la température et de la vitesse de l'air.

* Ray_{cl} : Flux radiatif total à la surface du tissu. Le flux infrarouge est calculé en fonction de la température du tissu. Le rayonnement solaire est calculé selon la méthode décrite plus haut.

Pour simplifier les calculs des températures et des flux, nous faisons l'analogie avec le circuit électrique suivant : R_1 , R_2 , R_3 et R_4 sont des résistances thermiques.



• Le bilan thermique des deux couches nous donne les équations suivantes :

* Pour la couche d'air à température T_{mi} : $\dot{q}_{s,cin} + \dot{q}_{s,int} - \dot{q}_{s,cond} = 0$

* Pour la couche de tissu à température T_{cl} : $\dot{q}_{s,cond} - \dot{q}_{s,cl} = C_{cl} \cdot \frac{dT_{cl}}{dt}$

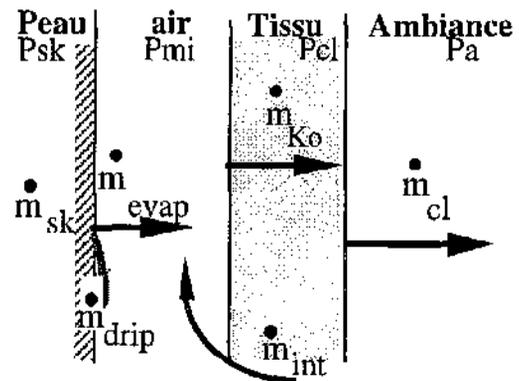
$C_{cl} (dT_{cl}/dt)$ Chaleur stockée dans le tissu, C_{cl} capacité calorifique totale du tissu.

Transferts de chaleur latente :

Les pertes de chaleur par évaporation au niveau de la peau peuvent s'écrire : $E = Q_L \cdot \dot{m}_{evap}$ avec : Q_L , Chaleur latente et \dot{m}_{evap} , masse d'eau évaporée à la surface de la peau.

De même que pour les transferts de chaleur, on a modifié le calcul des transferts de masse au niveau de la peau en tenant compte de la couche d'air entre les habits et la peau.

Le phénomène moteur dans les transferts de masse est la différence de concentration en vapeur d'eau ou la différence de pression. Pour pouvoir calculer l'évaporation au niveau de la peau, il faut donc connaître les pressions de vapeur dans les différentes couches. On suppose que l'eau est vaporisée au niveau de la peau et migre ensuite sous forme de vapeur. On a le schéma suivant avec \dot{m} , débit massique d'eau.



Représentation schématique des transferts de masse

• \dot{m}_{sk} : débit massique de l'eau produite au niveau de la peau : $\dot{m}_{sk} = \dot{m}_{evap} + \dot{m}_{drip}$

\dot{m}_{sk} eau produite au niveau de la peau, déterminée par les réactions thermophysiques

\dot{m}_{evap} eau évaporée qui migre à travers le tissu,

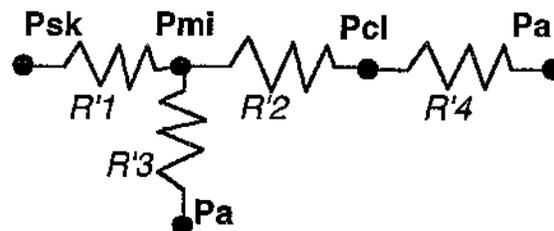
\dot{m}_{drip} eau non évaporée qui ruisselle sur la peau.

• \dot{m}_{int} : débit de l'eau échangée dans la couche d'air. Ce débit massique dépend de la vitesse du renouvellement d'air sous vestimentaire, et des caractéristiques de l'air.

• \dot{m}_{ko} : débit de l'eau échangée à travers le tissu. Cette quantité dépend de la perméabilité du tissu lui-même, donc du mode de tissage, de la composition des fibres, ...

• \dot{m}_{cl} : débit de l'eau échangée à la surface du tissu. Cette quantité d'eau dépend de la pression de vapeur dans l'air à proximité du tissu, donc de la vitesse de l'air.

Par analogie avec les transferts de chaleur, on représente les transferts d'humidité à l'aide d'un circuit électrique. $R'1$, $R'2$, $R'3$, $R'4$ étant des résistances aux transferts de vapeur.



• **Bilan massique** : L'égalité entre les flux entrants et les flux sortants dans la couche d'air intermédiaire nous donne les équations suivantes :

$$\text{Bilan massique de la couche d'air : } \dot{m}_{\text{evap}} + \dot{m}_{\text{int}} - \dot{m}_{\text{ko}} = 0$$

$$\text{Bilan massique au niveau du tissu } \dot{m}_{\text{ko}} - \dot{m}_{\text{cl}} = 0$$

Remarque : Pour l'instant nous ne tenons pas compte de l'eau emmagasinée dans le tissu. Cette variable est difficile à cerner, car elle dépend d'un très grand nombre de paramètres, tel que le type de tissage et la nature des fibres composant le tissu. Dans la plupart des modèles, les vêtements sont décrits par deux paramètres, l'isolement intrinsèque et un indice de perméabilité. Cependant, ces deux variables sont insuffisantes pour traduire les conditions dynamiques. Un tissu hygroscopique peut emmagasiner une quantité d'eau soit à l'état de vapeur (mv) soit sous forme d'eau liquide (mli). Les fibres textiles elles mêmes ont, en outre, la capacité d'absorber un certain pourcentage d'eau (mab).

$$M = mab + mv + mli$$

Si on tient compte de la masse d'eau emmagasinée dans le tissu sous toutes ses formes, il faut tenir compte de l'effet de sa variation. En plus des modifications directes sur les transferts de masse, il y a couplage avec les transferts de chaleur, soit par modification directe des caractéristiques thermiques, soit par apport de chaleur. En effet, lors de l'absorption ou la désorption, ou encore de l'évaporation ou la condensation dans le tissu, l'eau absorbe ou dégage de la chaleur qui modifie le bilan thermique. Ces phénomènes sont regroupés sous le terme d'"effet tampon".

Nous considérons que le tissu n'emmagasine pas d'eau. Dans la plupart des conditions expérimentales sur lesquelles nous avons travaillé cette hypothèse se justifie, surtout pour les zones qui ne sont pas en contact avec le siège. Dans une grande partie des essais, les conditions ne sont pas suffisamment chaudes pour que le conducteur transpire beaucoup et imbibe suffisamment le tissu pour entraîner des modifications notables du bilan thermique.

2.6 Les sensations

Plusieurs tentatives ont été faites pour établir des corrélations entre les sensations thermiques et les variables physiologiques ou physiques :

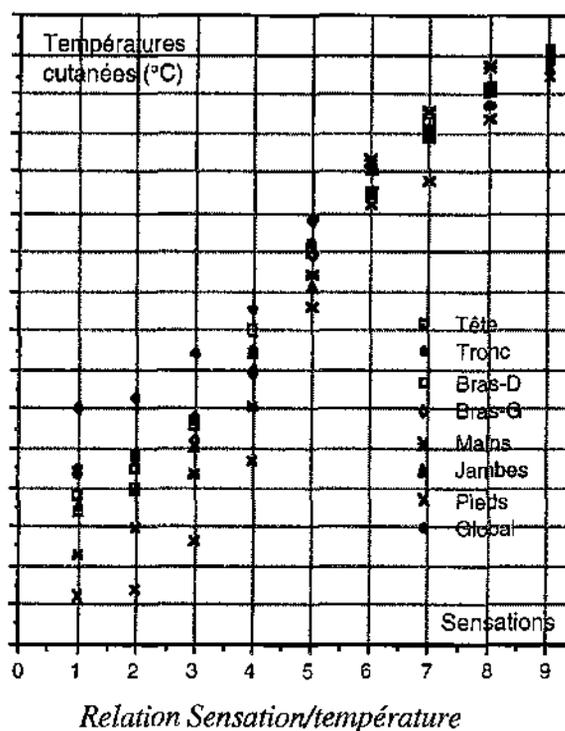
- Influence de la température de la peau ;
- Influence du sens de variation de la température ambiante ;
- Influence de la température de l'air inhalé.

Cette dernière influence apparaît nettement si on compare l'évolution des températures cutanées, de la température de l'air inspiré et des sensations : On voit que les extremums des sensations sont bien situés entre les extremums des températures de peau et de la température de l'air au niveau de la tête.

Nous avons alors établi un tableau de relations entre les sensations ressenties par l'essayeur et la moyenne entre la température de peau de chaque partie du corps et la température de l'air au niveau de la tête. Ceci est illustré sur la courbe ci-contre relative aux expériences d'hiver.

Quand les vêtements sont épais, on constate que l'influence du soleil est négligeable.

Si les vêtements sont légers, il faut prendre en compte le flux solaire.



On peut améliorer la prise en compte de l'air inhalé, mais il est fort probable que cela dépende du type d'expérience.

2.7 Conclusion

Le modèle d'estimation des sensations a été établi à partir d'expériences menées dans un véhicule à moteur thermique. Il est donc évident qu'il est pour l'instant inadéquat pour l'estimation des meilleures conditions de confort dans un véhicule à moteur électrique. L'objet de la première étape sera donc, d'établir les règles qui le conditionneront à partir d'expériences spécifiques menées par le LAA. Le calage de ce nouveau modèle sur MATHER ne pourra se faire que si l'on peut effectuer la modélisation de ces expériences spécifiques.

3 Réduction des mesures nécessaires à la simulation

En vue d'exploiter les résultats des expériences qui seront menées cet hiver par le LAA sur la SAXO, il est important de réduire le nombre de données nécessaires à la simulation. Il n'est pas envisageable d'instrumenter la voiture et le conducteur comme cela était fait en soufflerie.

Nous nous sommes attachés à réduire le nombre de données physiques à connaître sans toucher au programme principal. A partir d'un nombre restreint de mesures, on fournira au modèle toutes les données nécessaires. Celles non mesurées expérimentalement seront remplacées par d'autres ayant sensiblement la même valeur (ou par une moyenne).

Pour cela, nous avons dégagé les données prépondérantes ainsi que les plus représentatives pour le calcul des échanges thermiques à l'intérieur de l'habitacle.

Nous avons ensuite comparé les résultats des simulations avant et après modifications afin de valider nos simplifications.

3.1 Températures de surface

La simulation nécessite la connaissance de 20 températures de surface (Cf. tableau 3.1a). A partir des valeurs des facteurs de forme (Cf. Graphe 3.1) et des données enregistrées lors d'expériences en soufflerie sur la ZX, nous avons réduit le nombre de températures à connaître à 7.

N°	Nom des surfaces	N°	Nom des surfaces
1	pavillon	11	vitre avant gauche
2	toit ouvrant	12	siège passager
3	haut du pare-brise	13	haut du tableau de bord
4	milieu du pare-brise	14	milieu du tableau de bord
5	bas du pare-brise	15	dessous du tableau de bord + console
6	vitre avant droite	16	plancher
7	lunette arrière et vitres arrières	17	haut des portières avant
8	vitre avant gauche	18	bas des portières avant
9	vitre avant gauche	19	portières arrières
10	vitre avant gauche	20	montant du pare-brise

Tableau 3.1a : Températures de surfaces nécessaires à MATHER

La température (à la puissance 4) et l'aire de toutes ces surfaces entrent en compte, au même titre que les facteurs de vue, dans le calcul des transferts radiatifs entre le conducteur et son véhicule. A partir de l'observation de toutes ces données nous avons un classement des surfaces selon leur influence sur le bilan radiatif (Cf. tableau 3.1b).

1	vitre avant gauche (10)	11	vitre avant gauche (9)
2	haut du pare-brise	12	vitre avant gauche (8)
3	pavillon	13	bas des portières avant
4	haut des portières avant	14	milieu du pare-brise
5	milieu du tableau de bord	15	bas du pare-brise
6	plancher	16	vitre avant droite
7	siège passager	17	portières arrières
8	dessous du tableau de bord + console	18	haut du tableau de bord
9	montant du pare-brise	19	lunette arrière et vitres arrières
10	vitre avant gauche (11)	20	toit ouvrant

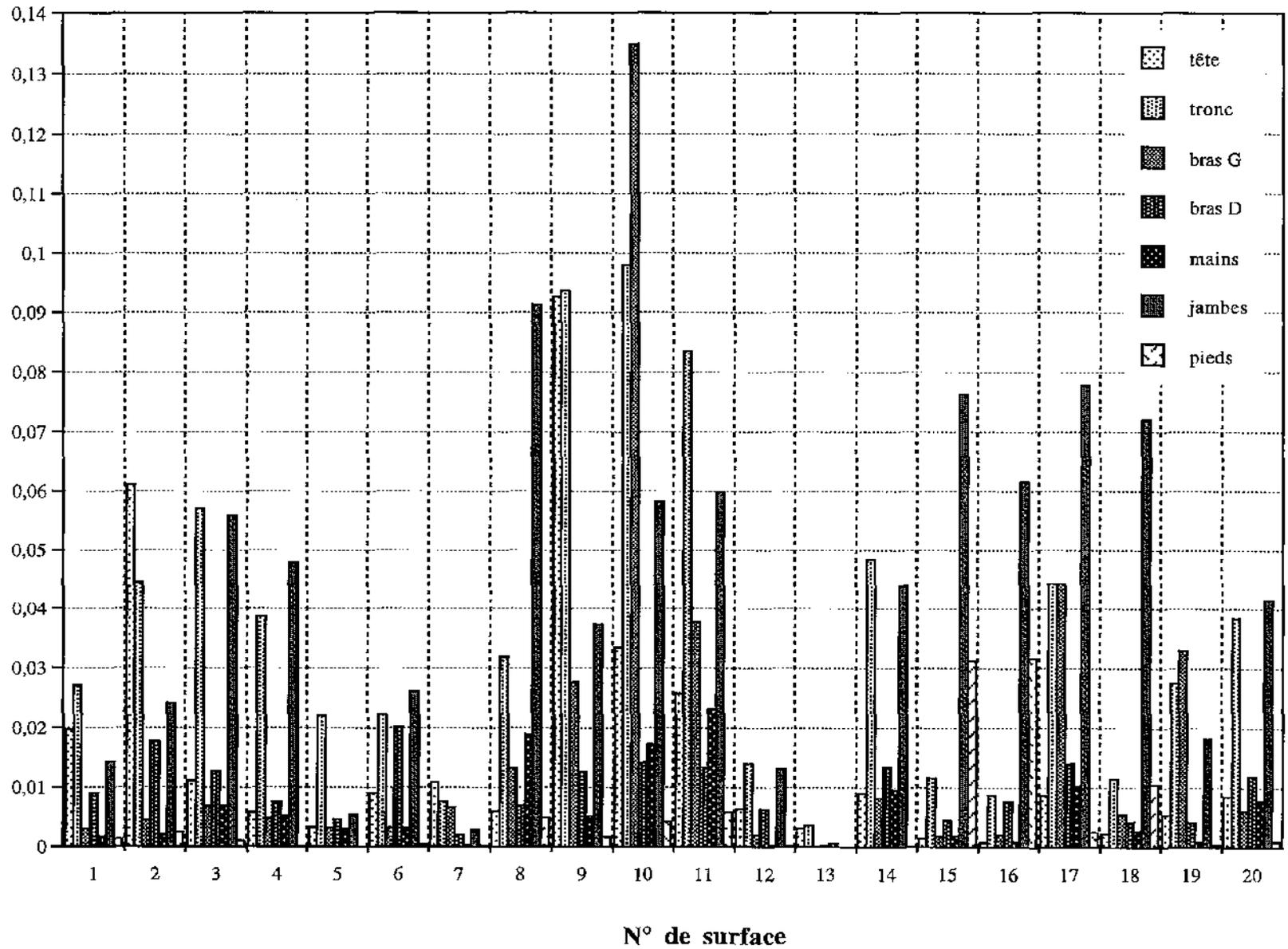
Tableau 3.1b : Classement des températures de surface nécessaires à MATHER par ordre d'influence décroissante

- Les 7 premières températures de surface (Ts) ont une forte influence sur les résultats.
- La température du siège conducteur n'est pas nécessaire pour les simulations actuelles mais deviendra indispensable lorsque l'on intégrera les échanges par conduction entre le siège et le conducteur.
- On ajoute aussi la température du volant. Elle n'est pas nécessaire à la simulation mais pourra être utile à l'interprétation des résultats. Comme la température du siège, elle s'avérera importante pour une éventuelle solution de chauffage par conduction.

On mesurera donc expérimentalement 9 températures de surface.

Graphe des facteurs de forme habitacle => conducteur pour la ZX

Graphe 3.1



3.2 Températures d'air

Les températures d'air à proximité du conducteur interviennent dans les échanges convectifs. Dans les expériences en soufflerie, on a mesuré la température de l'air au voisinage des zones suivantes :

Tête, tronc, bras gauche, bras droit, mains, jambes, pieds.

Soit 7 entrées dans MATHER, une par segment du corps.

En regardant leurs valeurs et évolutions respectives, on peut réduire ce nombre en mesurant seulement la température de l'air au voisinage de la tête, du tronc, des mains et des pieds (soit 4 mesures).

On affectera la température mesurée au niveau des mains aux bras. On affectera une moyenne des températures mesurées au niveau du tronc et des pieds aux jambes. Cette simplification est résumée dans le tableau suivant :

N°	Entrées MATHER T _{air} au voisinage de	N°	Mesures T _{air} au voisinage de
1	tête	1	tête
2	tronc	2	tronc
3	bras gauche	3	mains
4	bras droit	3	mains
5	mains	3	mains
6	jambes	(2+3)/2	moyenne tronc + mains
7	pieds	4	pieds

On pourra éventuellement remplacer la température à proximité des bras par une moyenne (tronc et mains).

3.3 Vitesses d'air

Le modèle a également besoin de 7 vitesses d'air à proximité du conducteur. Certaines de ces vitesses, dans certaines configurations, sont très faibles ($< 0,1 \text{ m.s}^{-1}$) et ne peuvent pas facilement être mesurées. On les remplacera par une vitesse égale à $0,1 \text{ m.s}^{-1}$. Les autres devront être mesurées lors des expériences.

On mesurera lors des expériences 3 vitesses d'air :

- à proximité de la **tête**
- à proximité des **mains**
- à proximité des **pieds**

3.4 Données sur l'habitacle

On doit fournir 2 données relatives à l'habitacle au modèle :

HRhab = Humidité relative à l'intérieur de l'habitacle

Thab = Température d'air à l'intérieur de l'habitacle

On remarque que pour les essais en soufflerie la température d'air mesurée à l'intérieur de l'habitacle est sensiblement la même que la température d'air au niveau de la tête. On pourra donc, en plaçant le thermocouple Thab près de la tête, remplacer la température d'habitacle par la température d'air près de la tête ou inversement.

Il faudra disposer dans la voiture d'une mesure d'humidité relative.

3.5 Récapitulatif des mesures nécessaires

En résumé, 16 données expérimentales devront être recueillies :

9 températures de surface	4 températures d'air	3 vitesses d'air	1 donnée habitacle
<ul style="list-style-type: none">• vitre avant gauche• pare-brise• pavillon• portière avant gauche• tableau de bord• plancher• siège conducteur• volant• siège passager	<ul style="list-style-type: none">• tête• tronc• mains• pieds	<ul style="list-style-type: none">• tête• mains• pieds	<ul style="list-style-type: none">• humidité relative

3.6 Validation de la réduction des mesures

Afin de justifier les simplifications proposées, nous avons effectué plusieurs simulations sur plusieurs essais représentatifs (toujours à partir des essais en soufflerie sur la ZX).

Nous avons choisi de présenter le résultat des tests de deux essais dont les plans d'expériences sont représentés ci-après :

Variables: T_{Veine} Température de la veine
 T_{hab} Température moyenne de l'air dans l'habitacle

Autres paramètres variants : Souff Mode de soufflage
 Upuls Tension pulseur (XX : variable)
 Soleil Puissance d'alimentation des lampes

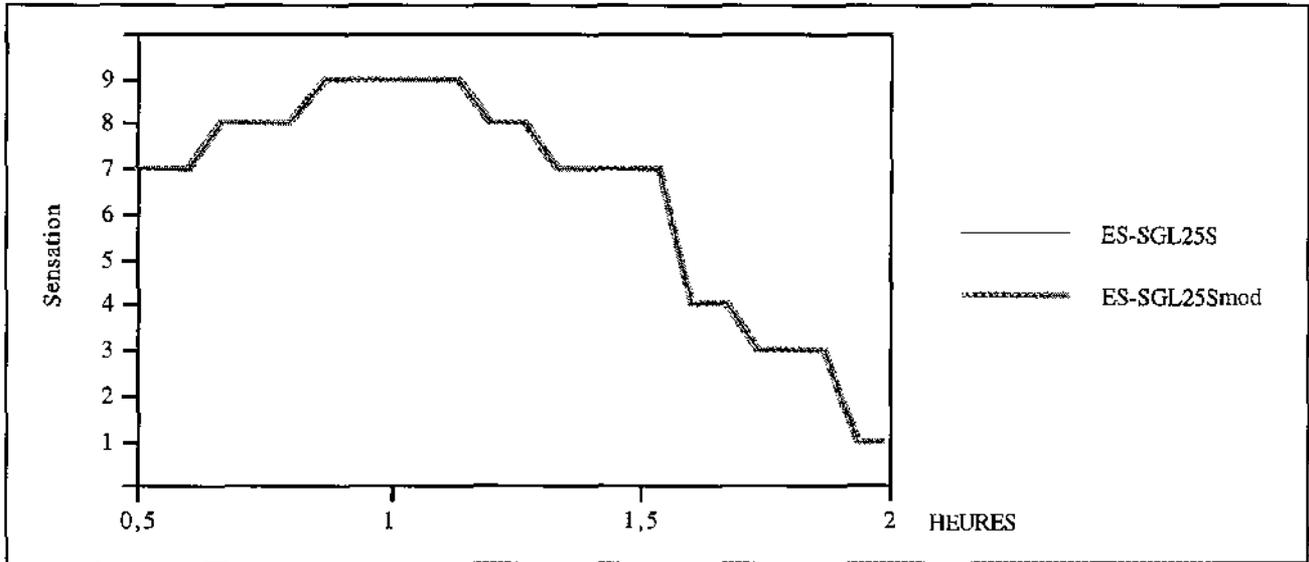
n°	Paramètres variants			Remarques	Souff Upuls
	T _{Veine}	T _{hab}	Autre		
25	15 22 7	25 36 10	Soleil 1000 500 0	Convection & Rayonnement dans même sens+soleil	Bilevel 6 V
28	-18	-15 40	12 Upuls 8 0 12	<i>Gamme d'hiver P.S.A.</i>	Pieds XX

• L'essai 25 est un essai où les effets du rayonnement sont prépondérants. La température de la veine (extérieure) varie au cours de l'expérience et on fait varier l'ensoleillement (avec une rampe de lampes). Le soufflage à l'intérieur de l'habitacle reste constant (soufflage bilevel avec tension du pulseur à 6 Volts).

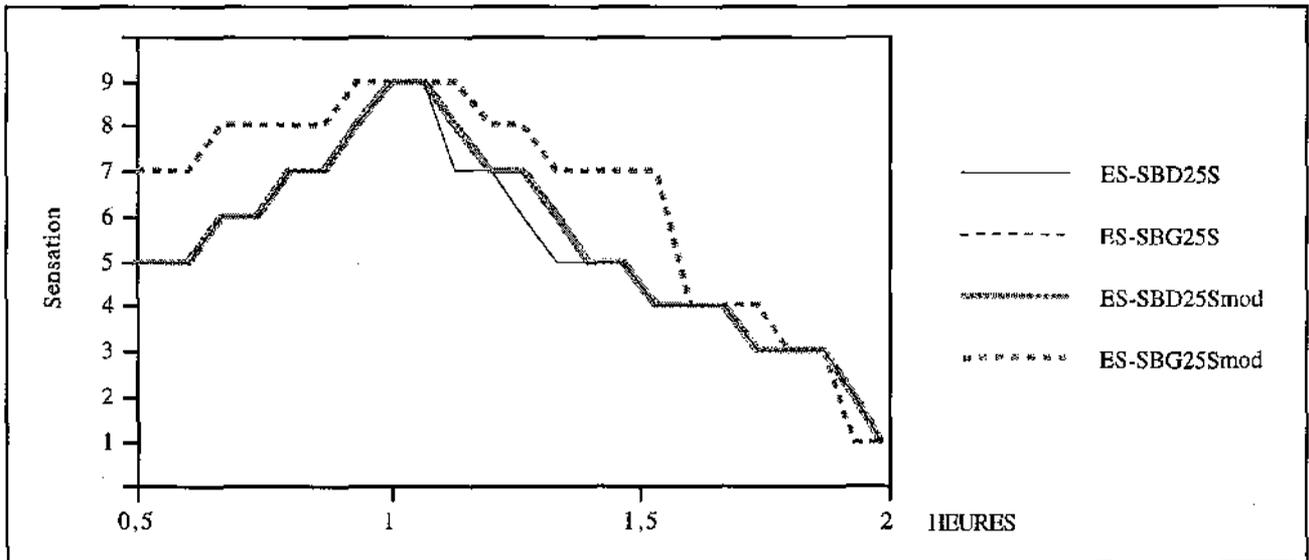
• L'essai 28 est par contre un essai où les effets de la convection sont prépondérants. La température de la veine reste constante (- 18°C) et on n'a pas de soleil. On fait seulement varier la puissance du soufflage au cours de l'expérience (soufflage sur les pieds 12 puis 8 puis 0 puis de nouveau 12 Volts).

Les courbes qui suivent représentent l'évolution au cours du temps des sensations thermiques. Les courbes "...mod" représentent les résultats obtenus après la réduction du nombre de mesures. La plupart du temps, les courbes sont superposées. On constate seulement quelques différences lorsque l'évolution est rapide. La simplification des mesures est donc justifiée.

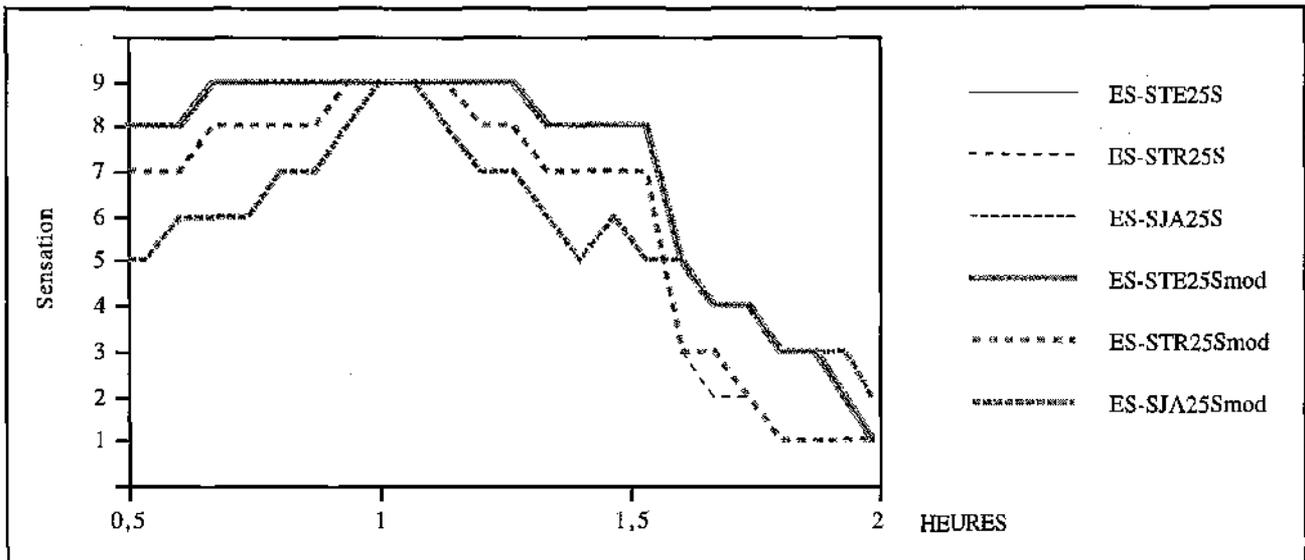
Essai n°25



Sensation globale

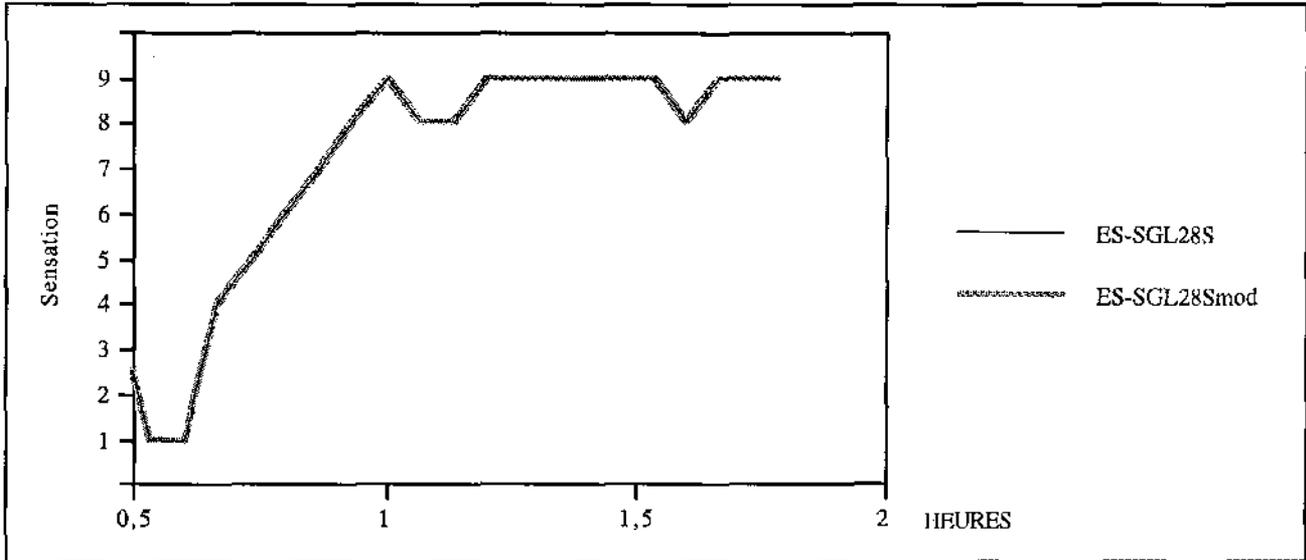


Sensation au niveau des bras

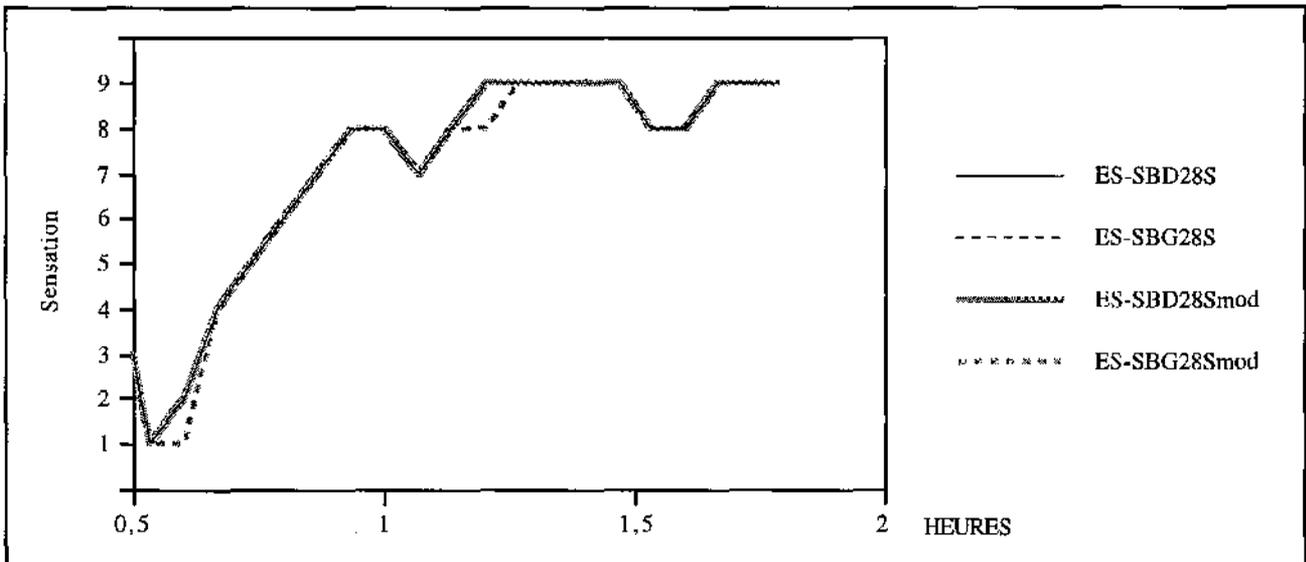


Sensation au niveau de la tête, du tronc et des jambes

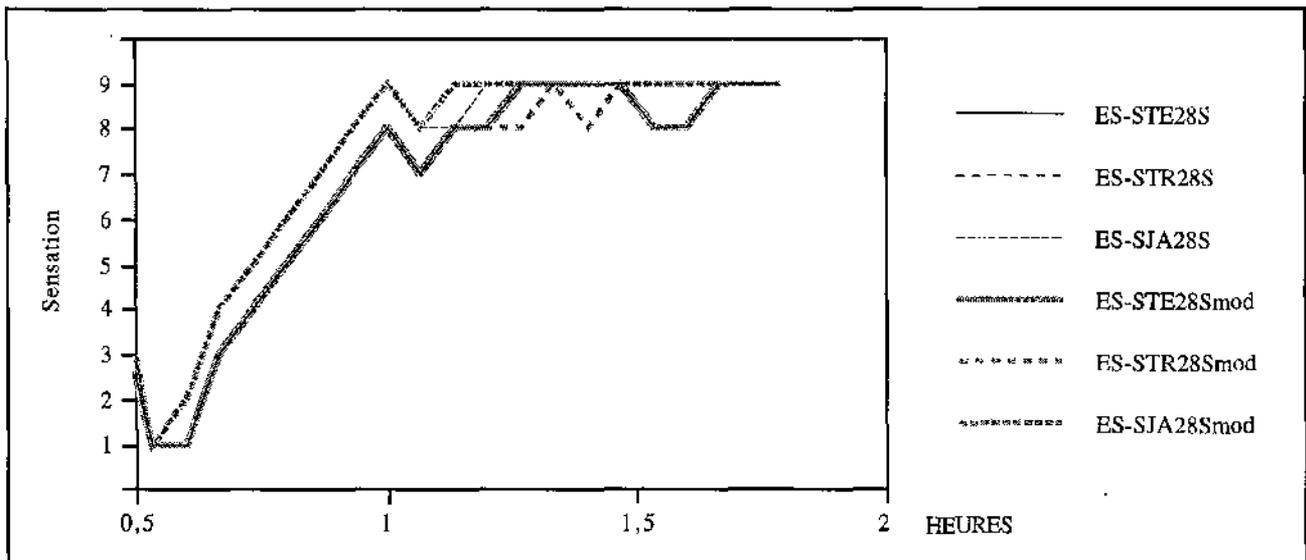
Essai n°28



Sensation globale



Sensation au niveau des bras



Sensation au niveau de la tête, du tronc et des jambes

4 Préparation des expériences

4.1 Description des vêtements choisis

La tenue vestimentaire sera celle utilisée dans le contrat MATHER hiver. On a besoin de connaître quelques caractéristiques sur les vêtements. Ces caractéristiques (pour chaque pièce), sont déterminées à l'aide de la norme internationale ISO 9920 et des recommandations de l'ITF (Institut des Textiles de France). Les caractéristiques manquantes sont complétées d'après les références de McCullough. Tous les paramètres sont donnés dans la description ci-dessous ; la plupart ne sont pas utiles pour les expériences elles mêmes, mais sont indispensables pour la modélisation ou pour retrouver facilement dans les normes à quels tissus ils correspondent exactement. Certaines données utiles au modèle sont calculées avec le programme de W.A. Lotens et G. Havenith.

La tenue d'hiver est la suivante :

- **Slip et Maillot de corps** : jersey tricot trame, 100% coton
- **Chemise** : chemise manches longues, avec col, sergé coton
- **Pull** : manches longues, ras en V, jersey tricot tramé, 20% laine-80% nylon
- **Pantalon** : droit ajusté, tweed, 50% laine -50%polyester
- **Chaussettes** : mi-chaussettes de ville, 75% acrylique, 25% nylon
- **Chaussures de ville**, à semelle rigide en vinyle

vêtement	n°	T*- %	tissu n°	M _{VET}	I _{cl}	X _e	R _{cl}	m _t	P _e
slip	1	T4-10%	25	27	0,03	0,95			1067
maillot	30	T2-40%	27	105	0,08	0,95			1097
chemise	54	T2-51%	91	362	0,33	0,70	0,04	206	241
pull-over	142	T6-45%	7	424	0,36	3,55			1031
pantalon	100	T1-45%	10	404	0,24	1,27	0,04	310	899
chaussettes	265	T2-14%	32	53	0,03	2,00			
chaussures	260	T6-7%		1006	0,03				

Nomenclature du tableau :

- n°** Numéro de la forme du vêtement dans la liste ISO
- T *- %** Type de coupe et pourcentage de surface couverte qui correspond à T*
- tissu n°** Numéro du tissu,
- M_{VET}** Masse totale du vêtement (g)
- I_{cl}** Isolement thermique intrinsèque (clo)

Xe	<i>Épaisseur du tissu (mm)</i>	
Rcl	<i>Résistance thermique du tissu ($m^2\text{°C/W}$)</i>	<i>données utiles</i>
mt	<i>Masse du tissu par m^2 (g/m^2)</i>	<i>pour le modèle</i>
Pe	<i>Perméabilité à l'air ($l/m^2.s$)</i>	

L'isolement thermique (I_{clT}) de la tenue complète peut être estimé en additionnant les I_{cl} des différents vêtements composant la tenue, il en est de même pour la masse totale M_{tenue} .

$$I_{clT} = \sum I_{cl}(i) = 1,10 \text{ clo} \quad M_{tenue} = \sum M_{vet}(i) = 2381 \text{ g}$$

Pour les simulations nous avons besoin de C_{cl} , capacité thermique du vêtement sur chaque segment ($J/\text{°C}$) :

$$C_{cl}(i) = m_t(i) \cdot C_t(i) \cdot S(i).$$

avec : m_t , masse surfacique du tissu ($kg.m^{-2}$)
 C_t , capacité thermique du tissu ($J \text{ kg}^{-1}.C^{-1}.m^{-2}$)
 S , surface du segment (m^2)

segment	Vêtements	Rcl	Fcl	Ctr	CCL	CV
tête	aucun	0.000	1.00	1.00	0.0	0.01
tronc	slip + chemise	0.220	1.10	0.10	1100.0	20.00
bras droit	chemise	0.200	1.20	0.15	200.0	20.00
bras gauche	chemise	0.200	1.20	0.15	200.0	20.00
mains	aucun	0.000	1.00	1.00	0.0	0.01
jambes	pantalons	0.140	1.20	0.20	700.0	20.00
pieds	chaussures + chaussettes	0.110	1.10	0.02	1200.0	0.01

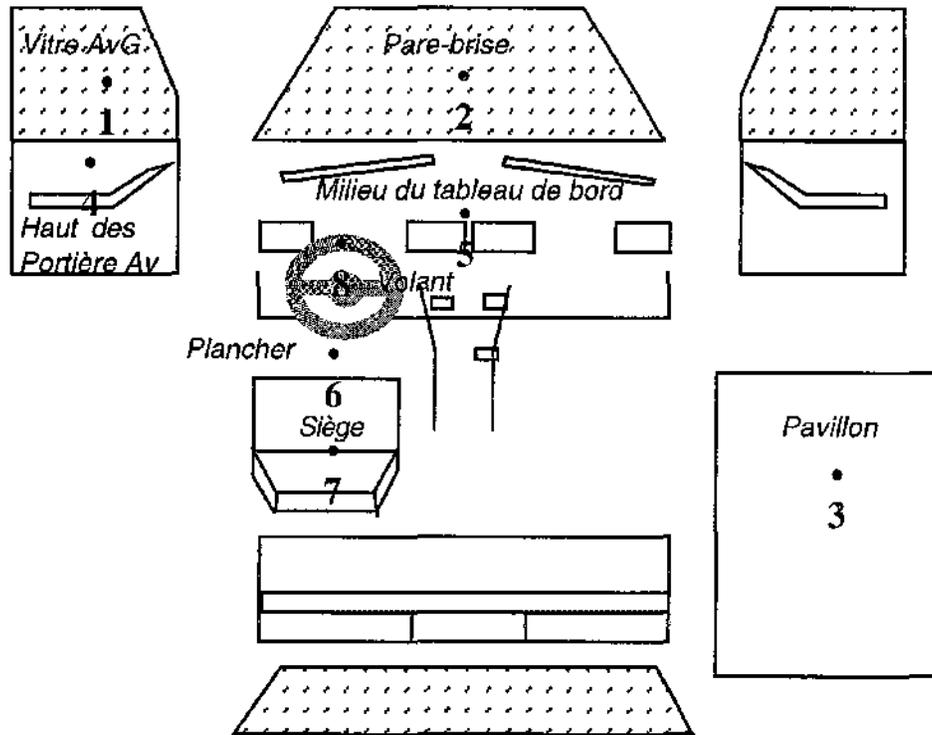
Nomenclature du tableau :

Rcl Résistance thermique des vêtements ($m^2\text{°C W}^{-1}$)
Fcl Facteur d'accroissement dû aux vêtements
Ctr Coefficient de transparence des tissus
Ccl Capacité thermique des habits sur chaque segment ($J \text{ °C}^{-1}$)
Cv Coefficient de renouvellement d'air sous vestimentaire

4.2 Instrumentation de la voiture

4.2.1 Températures de surface

On mesure 8 températures de surface. On utilisera pour cela des thermocouples de type K que l'on disposera comme indiqué ci-dessous :



Positionnement des thermocouples dans l'habitacle

Avant l'installation des thermocouples, on vérifiera l'isothermie des surfaces choisies afin d'optimiser l'emplacement des points de mesures.

4.2.2 Températures d'air

Il y a 4 températures d'air. On utilisera aussi des thermocouples de type K. On les disposera en s'efforçant de ne pas gêner le conducteur. Le thermocouple $T_{tête}$ descendra du pavillon et se trouvera sur le côté droit de la tête. Le thermocouple T_{tronc} descendra aussi du pavillon et passera sur l'épaule droite du conducteur pour venir se fixer (par l'intermédiaire d'une agrafe) sur le pull-over (voir sur la ceinture de sécurité). Le thermocouple T_{mains} sera fixé à proximité du volant et celui T_{pieds} sera placé au niveau des pédales (au dessus).

4.2.3 Vitesses d'air

On devra utiliser des sondes à fils chauds (car les vitesses peuvent être très faible). Un montage permettant de mesurer les vitesses d'air en plusieurs points de l'habitacle est fabriqué par la société MTE Instruments.

A priori on utilisera des sondes de 9 mm de diamètre et de 300 mm de longueur. Elles devront être placées de façon à gêner le moins possible le conducteur.

La direction de l'air soufflé n'étant pas toujours la même, il faudra orienter les sondes pour qu'elles puissent mesurer le plus grand nombre de configurations de soufflage.

La sonde au niveau des mains sera fixée sur la console la plus proche possible du volant sans toutefois gêner la conduite.

La sonde au niveau des pieds devra être placé entre les deux pédales sans gêner le mouvement du pied.

La sonde au niveau de la tête devra elle aussi être le plus proche possible du visage toujours sans gêner la visibilité.

4.2.4 Humidité relative

La sonde permettant de mesurer l'humidité relative sera placée au milieu du pavillon, à droite de la tête du conducteur.

4.3 Évaluation des sensations

Le LESETH propose de fournir une boîte permettant de recueillir les sensations thermiques. L'utilisation de cette boîte permettra une comparaison directe avec les résultats du modèle.

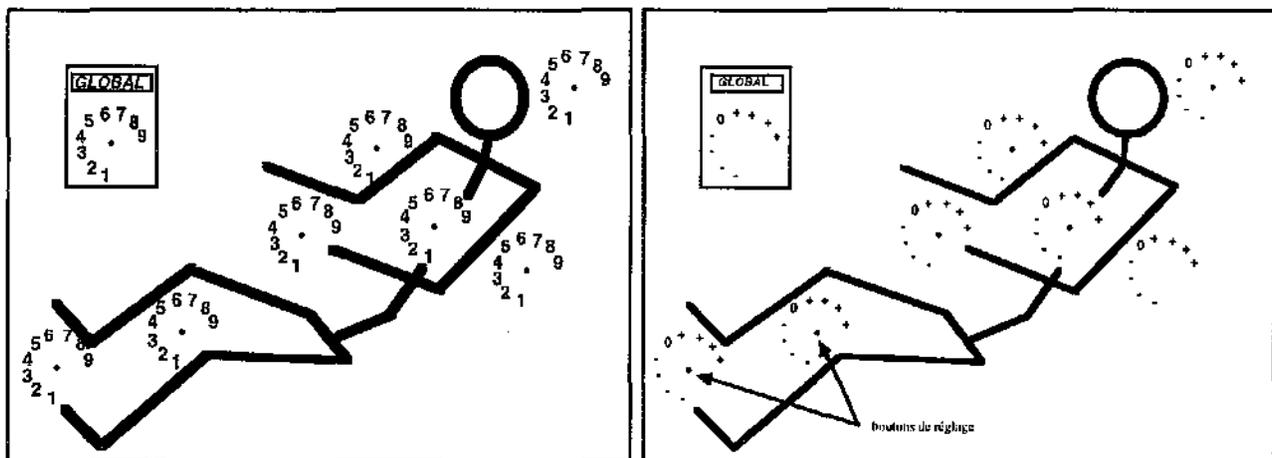
Le boîtier collecteur de sensations est destiné à recueillir les sensations thermiques ressenties sur les différentes parties du corps par une personne. Les sensations sont notées de 1 à 9 avec les correspondances suivantes selon l'échelle de sensations utilisée par PSA :

1 : très froid ; 2 : froid ; 3 : frais ; 4 : confort frais ; 5 : confort ;
6 : confort chaud ; 7 : chaud ; 8 : très chaud ; 9 : étouffant

Le boîtier traduit ces sensations en tensions continues entre 1 et 9 volts, permettant la mesure directe ou l'enregistrement sur un système d'acquisition de données.

On modifiera le dessin sur le dessus de la boîte pour simplifier et limiter les explications à donner aux essayeurs. L'échelle de sensation restera la même mais on ne proposera qu'une position centrale (correspondant au confort : cotation 5). Le conducteur pourra, à partir de cette position, choisir des positions : coté + s'il a plus chaud ou coté - s'il a moins chaud.

Face avant de la boîte à sensation



Boîte classique

Boîte aveugle

4.4 Remarques et recommandations

a) Format des données

PSA s'occupe de la synchronisation des données enregistrées lors des expériences et fournira au LESETH un fichier global au format Excel 5.0 comprenant :

- les mesures concernant l'ambiance dans le véhicule ;
- les sensations enregistrées dans le véhicule ;
- un calage régulier sur l'échelle de temps associée aux enquêtes effectuées par le LAA.

b) Restrictions pour les expériences

Pour pouvoir comparer les résultats expérimentaux avec les simulations, il est important de respecter quelques règles :

- Les fenêtres de la voiture doivent rester fermées ;
- Le conducteur ne devra pas enlever ses vêtements ;
- Afin de minimiser l'influence de la personne du LAA dans la voiture, il serait souhaitable que celle-ci se place à l'arrière du véhicule.

c) Remarques

Il serait intéressant de bloquer des paramètres (positions des aérateurs, type de soufflage ...) pour quelques expériences afin de pouvoir mieux les analyser.

5 Échanges radiatifs

5.1 Méthode MATHER

Dans les travaux réalisés jusqu'ici, les flux radiatifs nets échangés par les parois sont calculés en deux temps :

a) Évaluation des facteurs de vue entre toutes les parois

Les facteurs de vue répondent à la définition suivante :

$$F_{ij} = \frac{\text{Flux émis par la surface } i \text{ et reçu par la surface } j}{\text{Flux quittant la surface } i}$$

b) Calcul des flux nets par la méthode des radiosités

Les F_{ij} ne représentent exactement la contribution de la surface i au flux échangé par la surface j que dans le cas où les surfaces peuvent être considérées comme presque noires. On peut alors raisonner sur les facteurs de vue pour déterminer les surfaces les plus influentes. C'était le cas de MATHER. En effet, la plupart des matériaux courants ont une émissivité proche de 0,9. Elles sont donc presque noires.

5.2 Calcul des facteurs de vue

L'évaluation des flux radiatifs nécessite le calcul des F_{ij} entre les surfaces. On ne possède actuellement que les F_{ij} de la ZX.

Pour connaître les F_{ij} relatifs à la SAXO, deux étapes sont nécessaires :

a) Simplification

A partir du fichier CAO de l'intérieur de la SAXO, on établit un dessin simplifié de l'habitacle avec un conducteur (sans passager pour l'instant) à partir des surfaces isothermes. Ce travail sera fait dans les locaux de la DRAS par le LESETH fin janvier.

b) Calcul

On utilise le nouveau fichier simplifié pour calculer les F_{ij} au moyen d'un logiciel approprié .

Bibliographie

[1] THELLIER (F.), CORDIER (A.), MONCHOUX (F.), SERIN (G.) - *Analyse des paramètres de confort thermique par modélisation d'un individu dans son habitat* . C.V.C. n°1/2, pp.27-32, janv./Fev. 1989.

[2] MONCHOUX (F.), SERIN (G.), THELLIER (F.), CORDIER (A.) , GALEOU (M.)- *Des logiciels pour l'analyse et la gestion du confort thermique*. Revue Générale de Thermique, n°371, pp.616-620, nov. 1992.

"MATHER : MAnnequin THERmique dans un Véhicule Automobile" - PSA PEUGEOT CITROËN
- VALÉO THERMIQUE HABITACLE - (Convention de recherche n°92.32.020)

Phase I les Conditions D'hiver

THELLIER F., ALTHABEGOITY F., CORDIER A., MONCHOUX F., G. SERIN

- Rapport d'avancement n°1, 40 p., Septembre 1992.
- Rapport d'avancement n°2, 120 p., Février 1993.
- Rapport d'avancement n°3, 50 p., Juin 1993.
- Rapport d'avancement n°4, 43 p., Octobre 1993.
- Enveloppe Soleau, Novembre 1993
- Rapport d'avancement n°5, 51 p., Février 1994
- Rapport Final de synthèse, 150 p., Juin 1994.

Phase II les Conditions D'été

THELLIER F., PINIEC S., CORDIER A., MONCHOUX F.

- Rapport de recherche n°II.1, 50 p., Décembre 1994..
- Rapport de recherche n°II.2, 85 p., Avril 1995.
- Rapport de recherche n°II.3, 83 p.,Septembre 1995.
- Rapport de recherche n°II.4, 160 p. Janvier 1996.
- Rapport de recherche n°II.5, 70 p., Juin 1996.
- Rapport de recherche n°II.6, 100 p., Décembre 1996.
- Récapitulatifs de tous les essais , 145 p., Décembre 1996.
- Rapport final II., Janvier 1997.

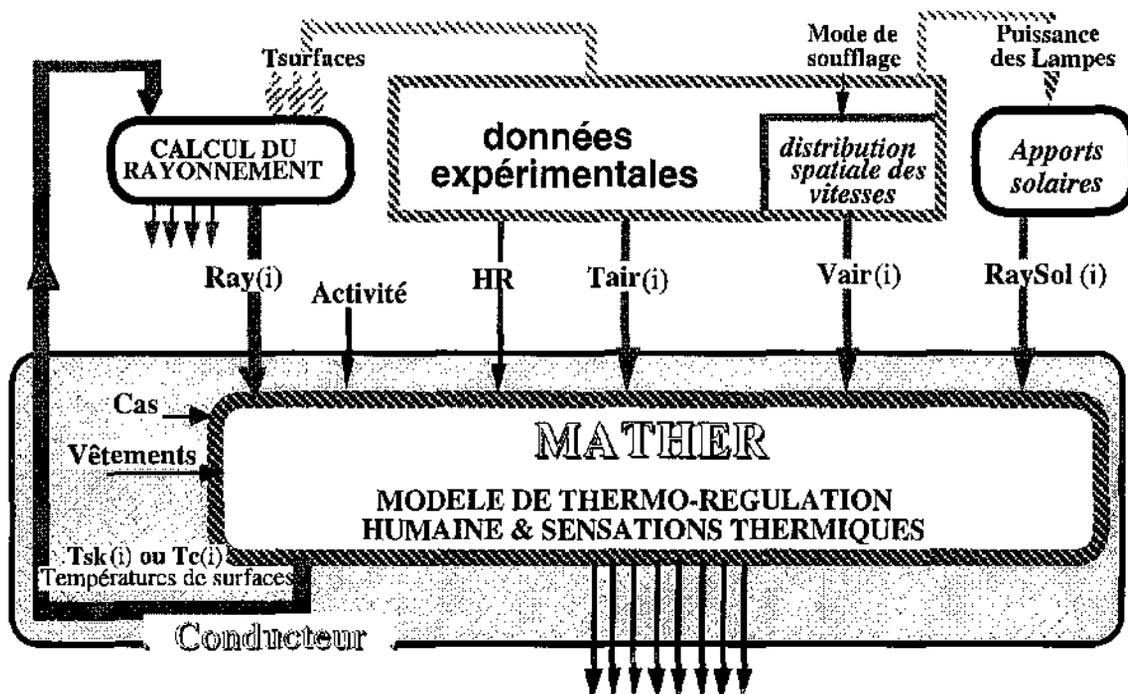
Annexe

HYPOTHÈSES SUR LES MODÈLES

Les limitations d'utilisation des modèles sont le plus souvent liées aux hypothèses posées pour les établir. Ainsi certaines limitations sont liées à MATHER, soit à la partie purement physiologique et thermosensorielle, soit à la description des échanges de chaleur. Une autre partie des hypothèses est liée aux modèles annexes : calcul du rayonnement infra-rouge et apports solaires.

Pour effectuer une simulation avec MATHER, le modèle a besoin de toutes les entrées décrites dans la fiche TRNSYS. Elles sont représentées ci-dessous. Si une des entrées est manquante le programme ne tourne pas, **il n'y a pas de valeur par défaut.**

Les entrées de MATHER peuvent être expérimentales ou calculées, suivant le cas. Pour l'instant, une partie (température d'air par exemple) vient directement des relevés expérimentaux après traitement des données pour avoir des données cohérentes (cf. rapport récapitulatif). Une partie des entrées n'étant pas accessible par la mesure (flux rayonnés par exemple), d'autres modèles ont été développés pour les calculer, et induisent donc eux mêmes certaines limitations.



Données Thermo-Physiologiques et sensations thermiques

Schéma du logiciel complet

1. Logiciel complet

Objet : L'ensemble des modules permet d'évaluer les sensations thermiques de l'essayeur Francis Carlier en tenue d'hiver ou Daniel Lebars en tenue d'été dans une ZX soumise à un climat artificiel dans une soufflerie.

Mode de fonctionnement : Fonctionne avec un ensemble de mesures expérimentales relatives au véhicule : températures de parois, températures et vitesses d'air, mode de soufflage, hygrométrie, puissance des rampes solaires....

Hypothèses détaillées :

- Le véhicule est une ZX
- L'essayeur est Francis ou Daniel
- L'essayeur est vêtu de façon précise : tenue d'hiver ou tenue d'été
- L'essayeur est assis à la place du conducteur...

Limitations :

Le logiciel a été conçu pour des conditions ambiantes intérieures normales : les conditions extrêmes de longue durée n'ont pas été validées. Il n'est donc pas fiable dans les situations suivantes :

- activité élevée, largement supérieure à 1,2 met,
- climat très chaud ou très froid plus de 30 minutes,
- soleil réel.

2. Composants du logiciel

2.1 Module apports solaires

Objet : calcule la puissance solaire reçue par chaque segment de l'individu.

Mode de fonctionnement : fonctionne avec un ensemble de **mesures** expérimentales relatives à la puissance affichée des lampes dans la soufflerie.

Hypothèses détaillées :

Ce modèle est totalement empirique, et ne s'appuie que sur des données expérimentales.

- Le flux "solaire" arrivant sur le sujet, varie de façon linéaire par rapport à la puissance des lampes.

- Le flux est nul lorsque les lampes sont éteintes .

- Le flux reçu ponctuellement sur une partie du segment est réparti sur tout le segment.

Hypothèses relatives à la soufflerie : position du véhicule et type des lampes

	modification	difficulté	travail à effectuer
Lampes	possible	lourd	étalonnage
Véhicule	possible	lourd	étalonnage

Hypothèses relatives au conducteur : aucune

Limitations :

Utilitaire développé uniquement pour faciliter les entrées de MATHER

Applications limitées au calcul du flux solaire sur le conducteur dans le cas des deux souffleries utilisée lors des essais.

En climat réel, il sera nécessaire de modifier le calcul des flux solaires.

2.2.Module rayonnement infrarouge

Objet : calcule la puissance infrarouge reçue par chaque segment de l'individu.

Mode de fonctionnement : fonctionne avec un ensemble de températures mesurées relatives aux surfaces intérieures du véhicule et toutes les températures de surface (peau ou vêtement) calculées par MATHER.

Le modèle calcule les différents flux entre les diverses surfaces de l'ensemble habitacle - conducteur. Ce modèle a besoin des facteurs de forme homme - voiture.

Hypothèses détaillées :

- Les surfaces sont opaques au rayonnement infrarouge, elles sont grises et diffusantes en émission et en réflexion. Leurs propriétés radiatives sont indépendantes de la longueur d'onde et de la direction d'émission :

$$\varepsilon = 1 - \rho \quad (\varepsilon \text{ émissivité, } \rho \text{ coefficient de réflexion})$$

- L'air traversé par le rayonnement est considéré comme parfaitement transparent. Le gaz ne participe pas aux échanges, il est ni absorbant ni émissif.

- Le flux incident venant des autres surfaces est réparti uniformément.

- Seul le rayonnement infra-rouge est pris en compte.

- Chaque surface considérée est isotherme.

- L'émission est Lambertienne.

- Le modèle n'est établi que pour le conducteur d'une voiture, dont la géométrie est définie préalablement.

- La voiture est représentée par 20 surfaces et le conducteur par 7.

Hypothèses relatives à la soufflerie : aucune

Hypothèses relatives au véhicule : formes intérieures

	modification	difficulté	travail à effectuer
forme	possible	lourd	définition des surfaces

Hypothèses relatives au conducteur : position

	modification	difficulté	travail à effectuer
position	possible	lourd	définition des surfaces

Modèles associés :

- Logiciel de calcul des facteurs de forme, qui peut être quelconque.

- Logiciel d'inversion de matrice.

Limitations :

Les facteurs de vue dont nous disposons sont uniquement ceux de la ZX. Le module peut donc être utilisé avec précaution en l'état pour une voiture ayant environ les mêmes proportions mais en aucun cas pour des configurations de véhicule très différentes ou si l'essayeur change de place.

Difficultés :

Le programme nécessite de nombreux relevés de températures de paroi ainsi que les températures de surfaces du conducteur à chaque pas de temps.

2.3 Module MATHER

Objet : Détermination des réactions thermophysiologiques et des sensations thermiques d'un homme.

Mode de fonctionnement : fonctionne avec un ensemble de mesures expérimentales et les grandeurs calculées par les modules rayonnement et apports solaires.

Hypothèses détaillées :

- L'individu est un homme "standard" Taille : 1,75 m; Poids : 74 kg; Surface corporelle : 1,89 m²

- L'individu est en bonne santé , ne mange pas, ne dort pas, n'a pas d'émotion

- ses vêtements n'absorbent pas d'humidité et ne sont pas imperméables

- Une partie du corps est en contact avec le siège

- Il n'y a pas d'échanges de chaleur sensible avec le siège

- Les échanges de chaleur latente ne sont pas plus limités par le siège que par l'air ambiant à même température.

- Les sensations thermiques ne correspondent qu'à l'échelle définie, et représentent les estimations données par les essayeurs. (en tenue d'hiver Francis Carlier, en tenue d'été : Daniel Lebars).

- Certains membres sont regroupés ; les deux jambes, par exemple, ont la même température et sont traités comme un seul segment. Par contre les deux bras sont séparés.

Hypothèses relatives à la soufflerie : aucune

Hypothèses relatives au véhicule : forme et nature du siège

	modification	difficulté	travail à effectuer
nature du tissu	impossible		
forme	possible	légère	changer la surface de contact

Hypothèses relatives au conducteur :

	modification	difficulté	travail à effectuer
conducteur	impossible		
vêtements	possible si références détaillées	moyen	calcul des caractéristiques

Validité :

Les **résultats thermophysologiques** sont valables pour tout individu répondant à la description ci-dessus.

Les **sensations thermiques** calculées sont uniquement celles qu'exprimeraient Daniel ou Francis.

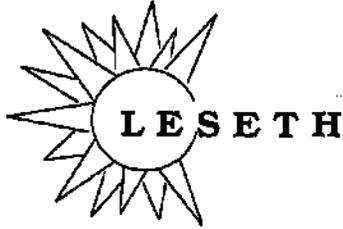
Modèles associés :

Il est indispensable d'avoir les modèles de calcul du bilan radiatif, la carte des flux solaires et la carte des vitesses locales en fonction du type de soufflage.

Difficultés :

Un grand nombre de paramètres est nécessaire. Les caractéristiques physiologiques du système contrôlé ont été établies de façon expérimentale et sont peu contestées. Par contre, les paramètres du système régulateur (températures de consigne et coefficients de contrôle) varient énormément d'un auteur à l'autre. Mais beaucoup de précautions sont nécessaires pour modifier les paramètres, car la modification d'un seul paramètre entraîne souvent des conséquences inattendues.

UNIVERSITE PAUL SABATIER



Chauffage d'une voiture électrique

Tulip

Rapport d'avancement n°2

Mai 1997

CONFIDENTIEL

Laboratoire Etudes des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

Cédric MILVAQUE, Françoise MONCHOUX, Françoise THELLIER

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
1. PREPARATION DES SIMULATIONS.....	3
1.1. Adaptation du logiciel.....	3
1.1.1. Passage de TrnSys 13.1 à 14.2.....	3
1.1.2. Modifications et simplifications	4
1.2. Calcul des facteurs de vue	5
1.2.1. Création du fichier universel.....	5
1.2.2. Calcul des facteurs de vue.....	7
2. PREPARATION DES ESSAIS	8
2.1. Présentation	8
2.2. Instrumentation de la voiture.....	8
2.2.1. Matériel utilisé	8
2.2.2. Positionnement des capteurs	9
2.2.3. Protection et fixation des capteurs	9
3. RESULTATS DES ESSAIS.....	10
3.1. Résultats bruts.....	10
3.2. Traitement des fichiers	11
3.3. Courbes expérimentales.....	12
3.3.1. Données relatives à l'habitacle	12
3.3.2. Données relatives aux sensations.....	14
3.4. Influence de la vitesse au niveau des mains	15
3.5. Analyse sommaire des expériences	18
CONCLUSION	19
ANNEXES	20

INTRODUCTION

Ce rapport comporte 3 grandes parties. La première illustre le travail préparatoire de mise à niveau de l'outil de simulation. Ce travail, rendu nécessaire par le changement de voiture mais aussi d'ordinateur, est à ce jour terminé.

La deuxième partie concerne la préparation des expériences réalisées en mars 1997 à Vélizy et notamment l'instrumentation de la voiture.

La dernière partie porte sur les résultats des essais et surtout sur le traitement des fichiers en vue des simulations futures. On présentera aussi toutes les courbes expérimentales en annexe.

1. PREPARATION DES SIMULATIONS

Avant de pouvoir utiliser MATHER pour notre étude, il a été nécessaire d'effectuer quelques modifications à la fois sur MATHER mais aussi sur les modules qui l'entourent. Il a également été nécessaire de calculer les facteurs de vue relatifs à l'habitacle de la 106.

1.1. Adaptation du logiciel

Le logiciel de simulation complet (MATHER + les autres modules associés) a été entièrement développé, pour la ZX dans un climat artificiel, sous un environnement TrnSys. La dernière version de TrnSys (version 14.2) fonctionne sous environnement PC alors que tous les modules ont été développés avec la version 13.1 fonctionnant sous environnement Macintosh. Il en résulte une adaptation nécessaire des modules à la fois à la nouvelle voiture mais aussi à la version 14.2 de TrnSys. Cette dernière version utilise un Fortran (Fortran Powerstation 4.0) conçu et optimisé pour Windows95.

1.1.1. Passage de TrnSys 13.1 à 14.2

Pour pouvoir utiliser les modules, nous avons modifié le Fortran des programmes. Nous avons également dû changer le nom du type (ou module) MATHER. Les noms des 3 types sont maintenant :

- Type 64 - MATHER (anciennement Type 54) ;
- Type 70 - Echanges radiatifs infrarouges ;
- Type 74 - Apports solaires.

TrnSys fonctionne maintenant avec une interface graphique (IISiBat) plus souple d'utilisation. La version 14.2 est plus contraignante notamment en ce qui concerne les valeurs par défaut. Nous avons dû attribuer une valeur par défaut à tous les paramètres des modules.

Pour vérifier que le passage à la nouvelle version n'altérerait pas le résultat des simulations, nous avons, dans un premier temps, essayé de modifier le moins possible la programmation initiale. Après avoir intégré les modules dans leur nouvel environnement, nous avons simulé plusieurs essais avec les résultats expérimentaux de la ZX. Il s'est avéré que les résultats sont pratiquement identiques à ceux obtenus avec la version 13.1 sur Macintosh (comparaison en Annexe). Il existe une petite différence qui peut être expliquée en grande partie par l'architecture 32 Bits du PC et aussi par le passage en double précision des entrées et sorties des modules. Cette première étape ayant été effectuée, nous avons pu passer aux modifications nécessaires à l'utilisation avec un autre véhicule.

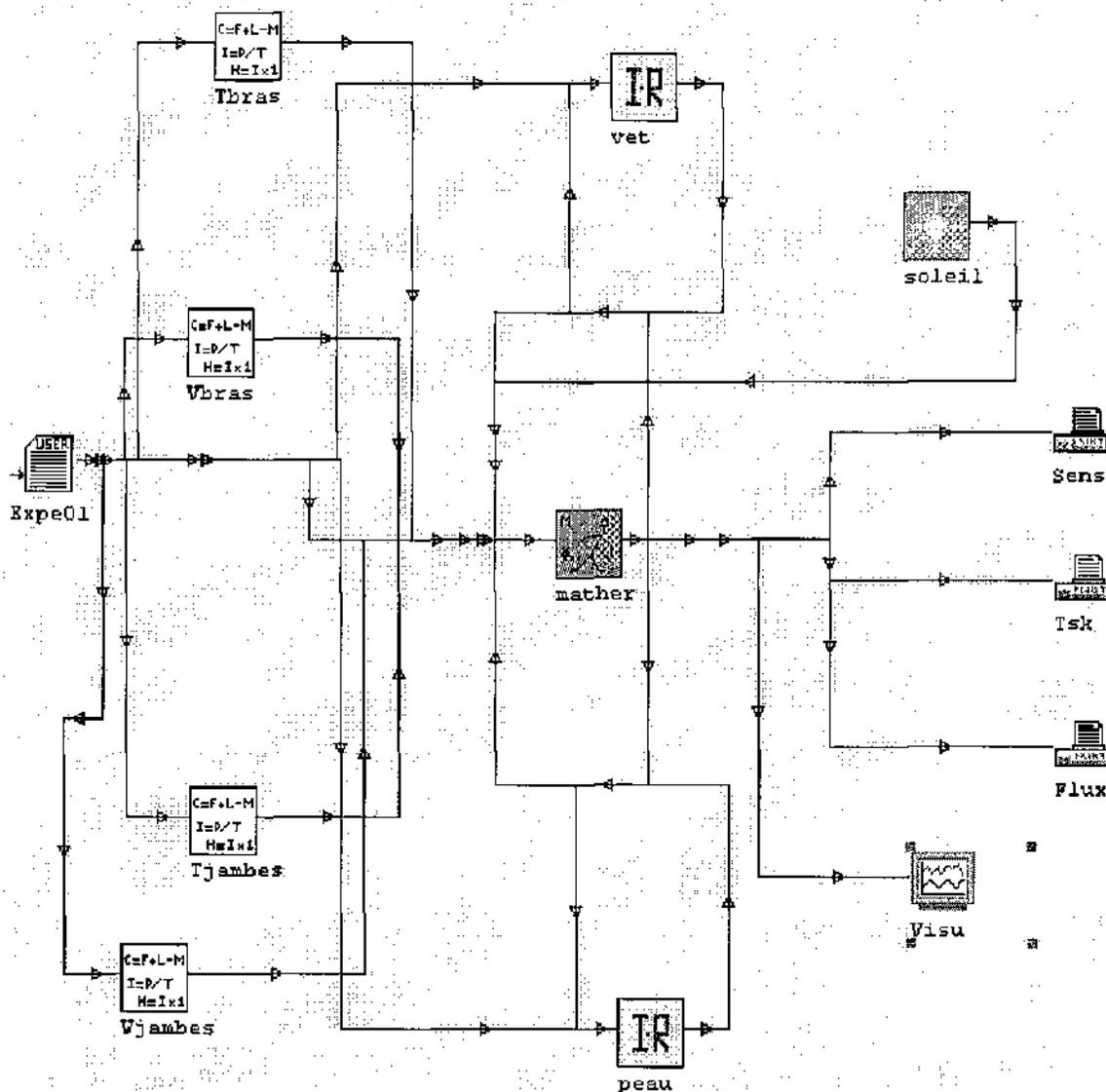
1.1.2. Modifications et simplifications

Pour utiliser MATHER dans le cadre notre étude, nous avons modifié les 3 types cités plus haut. Nous avons surtout essayé de rendre les programmes plus souples. Il est important de pouvoir passer d'un habitacle à un autre assez rapidement.

C'est le module d'échanges radiatifs infrarouges qui a demandé le plus de modifications. On peut maintenant passer d'une voiture à une autre uniquement en spécifiant le nom du fichier contenant les facteurs de vue et le nombre de groupes de surfaces décrivant l'habitacle (compris entre 1 et 20). Il faut cependant que les 7 premières surfaces (groupes de surfaces) dans le fichier, facteurs de vue correspondent aux 7 segments du conducteur.

Il faut noter que le nombre de surfaces entré à ce moment-là sera aussi le nombre de températures de surfaces à fournir au type 70.

On montre ci-dessous un exemple de la construction d'un projet de simulation avec l'interface graphique de TrnSys.



Exemple de la construction d'un projet de simulation

On peut voir sur cet exemple les liens entre les différents modules (pas en détails). On utilise bien sûr les 3 types modifiés pour l'étude, mais aussi, des types internes à TrnSys permettant la lecture de données dans un fichier (Expe01), l'écriture dans un fichier des résultats (Sens, Tsk,

flux) mais aussi la visualisation directe (Visu). On retrouve aussi 4 types équation (Tjambes, Tbras, Vjambes, Vbras) que l'on utilise pour traiter et modifier les données entre 2 modules.

Dans l'état actuel des choses, le logiciel de simulation complet fonctionne avec la version 14.2 de TrnSys sous environnement PC (Windows95 + Fortran Powerstation 4.0). On peut l'utiliser avec n'importe quel type de véhicules (ZX, 106, etc.), à condition d'avoir le fichier contenant les facteurs de vue.

1.2. Calcul des facteurs de vue

Nous avons calculé les facteurs de vue (F_{ij}) de la 106 afin de permettre l'évaluation des échanges radiatifs. Pour cela, nous avons passé 2 jours à l'usine de Vélizy (29 et 30 janvier 1997) afin de réaliser la première étape du calcul.

1.2.1. Création du fichier universel

Pour utiliser le code de calcul des facteurs de vue, on a besoin de connaître la géométrie de l'intérieur de l'habitacle. Cette géométrie sera définie dans un fichier de type universel (*.unv). Ce fichier contient la description en panneaux quadrangulaires et/ou triangulaire de l'habitacle simplifié de la voiture. Les panneaux sont considérés comme des éléments.

Pour obtenir ce fichier universel on procède par étapes :

a) Simplification

A partir du dessin complet de la voiture, on isole le contour du volume intérieur de l'habitacle. On simplifie ensuite ce volume selon les besoins (on a intérêt à utiliser un nombre restreint d'éléments afin de réduire le temps de calcul). On dispose maintenant du dessin simplifié de l'habitacle.

b) Maillage

On exporte si nécessaire le dessin obtenu dans un logiciel de maillage (I-DEAS ou OPTIMA par exemple). On n'a pas besoin d'un maillage très fin : 4 noeuds pour les éléments quadrangulaires et 3 pour les éléments triangulaires. Chaque élément doit être défini comme étant une surface.

c) Intégration du mannequin

On intègre le mannequin dans l'habitacle. Celui-ci a déjà été simplifié et maillé de la même façon en surfaces quadrangulaires et triangulaires à 4 et 3 noeuds. Le mannequin utilisé a été réalisé pour une étude précédente (ZX) ; il faut le fusionner avec l'habitacle. On doit éliminer les surfaces doubles (notamment à l'interface avec le siège) ; dans ce cas, les noeuds du mannequin et du siège doivent être confondus. On doit aussi éliminer les surfaces qui ne servent pas à délimiter le volume intérieur (comme la surface du dos en contact avec le siège). On doit voir l'intérieur du mannequin de l'extérieur (en vue de dessous).

Il faut aussi s'assurer que le volume intérieur ainsi délimité est fermé.

Remarque : L'ordre des noeuds des éléments doit correspondre impérativement au sens positif de la normale intérieure. On doit donc vérifier que la normale de chaque élément (surfaces) est orientée vers l'intérieur du volume.

d) Regroupement des surfaces

On associe ensuite les surfaces pour former des groupes (sous-objets) qui seront considérés isothermes. On donne un nom à ces groupes ainsi qu'une couleur (cette étape peut être réalisée dès la création des surfaces). Ces regroupements sont numérotés (de 1 à n). Si on veut, en plus des numéros, faire apparaître les noms dans le fichier universel, il faut associer à chaque groupe une propriété portant le même nom que lui. Sinon il ne faut pas oublier de noter la correspondance entre les numéros et les noms des sous-objets.

Pour pouvoir utiliser par la suite le programme d'échanges radiatifs infrarouges sans y apporter de nouvelles modifications, les 7 premiers groupes correspondent aux 7 segments du conducteur toujours donnés dans le même ordre (tête, tronc, bras gauche, bras droit, mains, jambes, pieds).

Nous avons regroupé les surfaces de façon à obtenir entre 15 et 21 groupes de surfaces. En effet, nous avons décidé de créer 4 fichiers universels différents. Le premier comporte 16 groupes et les 3 autres en découlent directement avec des regroupements différents (Cf. Tableau 1.2-a).

	106	106 sans volant	106 détaillée	106 détaillée sans volant
N°	fichier 1	fichier 2	fichier 3	fichier 4
1	tête	tête	tête	tête
2	tronc	tablette	tronc	tronc
3	brasG	tronc	brasG	brasG
4	brasD	brasG	brasD	brasD
5	mains	brasD	mains	mains
6	jambes	mains	jambes	jambes
7	pieds	jambes	pieds	pieds
8	planche de bord	pieds	planche de bord	planche de bord
9	plancher	planche de bord	plancher	plancher
10	tablette	plancher	tablette	tablette
11	pavillon	pavillon	vitre gauche	vitre gauche
12	porte	porte	montants	montants
13	siège conducteur	siège conducteur	pavillon	pavillon
14	vitres	vitres	porte	porte
15	pare-brise contour	pare-brise contour	siège conducteur	siège conducteur
16	volant		siège	siège
17			vitres	vitres
18			pare-brise bas	pare-brise bas
19			pare-brise milieu	pare-brise milieu
20			pare-brise contour	pare-brise contour
21			volant	

Tableau 1.2-a : Regroupement des surfaces pour les 4 fichiers universels

Nous utiliserons, en premier lieu, le fichier 1 (106) qui sera notre référence pour les simulations. Les autres pourront servir selon les besoins et l'évolution de notre étude.

e) Création du fichier universel

Il suffit maintenant d'enregistrer les fichiers au format universel (proposé dans le menu d'OPTIMA et d'I-DEAS) et de le copier sur une disquette formatée DOS (et/ou UNIX).

Le logiciel de maillage nous a aussi permis de connaître la surface de chaque groupe de surfaces :

N°	Nom	Surface (en m ²)
1	tête	0.143
2	tronc	0.406
3	brasG	0.157
4	brasD	0.158
5	mains	0.034
6	jambes	0.394
7	pieds	0.085
8	planche de bord	1.125
9	plancher	1.965
10	tablette (+ arrière simplifié)	2.754
11	vitre gauche	0.362
12	montants	0.937
13	pavillon	1.457
14	porte	1.312
15	siège conducteur	0.698
16	siège	1.001
17	vitre arrière	1.379
18	pare-brise bas	0.186
19	pare-brise milieu	0.173
20	pare-brise contour	0.436
21	volant	0.097

1.2.2. Calcul des facteurs de vue

Nous devons ensuite utiliser un programme de triangularisation. Le calcul des F_{ij} nécessite en effet des fichiers (*.tri) définissant la géométrie de l'habitacle uniquement avec des surfaces triangulaires. Les fichiers *.tri sont obtenus à partir du fichier *.unv en divisant chaque quadrangle en deux triangles.

Nous utilisons ensuite un logiciel de calcul qui nous donne directement un fichier contenant les F_{ij} . Le temps de calcul dépend du nombre d'éléments constituant les groupes de surfaces ainsi que de la précision souhaitée. Il faut que la somme sur i des F_{ij} pour un groupe de surfaces soit égale à 1. Plus on veut se rapprocher de cette valeur et plus le temps de calcul est élevé.

$$\sum_{j=1}^n F_{ij} = 1$$

Exemple : On présente ci-dessous le résultat d'un calcul avec 2 niveaux de précision. Figure dans ces tableaux (Tableau 1.2-b et Tableau 1.2-c), pour chaque groupe de surfaces, la somme sur i des F_{ij} . La précision (n,m) indique le nombre de discrétisation des triangles (n) et le niveau de décomposition (m) de la sphère centrée sur le centre de chaque élément de surface.

Tableau 1.2-b : Précision (1,1) - temps de calcul : 1 minute 32 secondes

1	0.968021	2	1.007668	3	1.047463	4	1.032230
5	1.020635	6	0.996803	7	0.968290	8	0.999471
9	0.960472	10	0.899852	11	0.968357	12	0.967892
13	1.006212	14	0.856386	15	0.992895	16	0.967892

Tableau 1.2-c : Précision (3,3) - temps de calcul : 4 heures 22 minutes 28 secondes

1	0.989849	2	1.006216	3	1.002409	4	0.994175
5	0.999183	6	0.999354	7	0.974609	8	1.001073
9	0.960094	10	0.900481	11	0.972720	12	0.975071
13	1.007309	14	0.850117	15	0.984425	16	0.997259

2. PREPARATION DES ESSAIS

Les essais ont eu lieu du 3 au 21 mars 1997. Le LESETH avait en charge le choix du nombre de capteurs ainsi que leur emplacement. Ces essais initialement prévus au mois de février ont été retardés par un problème de livraison de la voiture. Le but de ces essais était de pouvoir évaluer les besoins en terme de confort thermique dans une voiture à moteur électrique.

2.1. Présentation

La voiture a été entièrement instrumentée par PSA en suivant nos indications. Nous avons passé 2 journées à Vélizy pour préparer l'intégration des capteurs. La première a eu lieu alors que la voiture n'était pas encore livrée. Nous avons quand même indiqué l'emplacement de tous les capteurs au technicien chargé de l'instrumentation ainsi que le type de protection et de fixation de chaque capteur. La deuxième journée (15 jours plus tard) a été une journée de test où nous avons notamment vérifié le bon emplacement des capteurs.

Il s'agissait aussi de s'assurer de la bonne acquisition de toutes les données.

2.2. Instrumentation de la voiture

Le nombre de capteurs a été légèrement augmenté pour profiter au maximum des essais. La centrale d'acquisition utilisée possède 2 cartes d'acquisition de 14 voies chacune. On peut brancher, sur une, les sondes de vitesse d'air et les sondes de mesure de l'humidité relative, sur l'autre, les thermocouples (températures de surfaces et d'air).

2.2.1. Matériel utilisé

Les essais ont été réalisés sur une 106 électrique blanche. La couleur blanche avait été demandée pour minimiser les effets d'un ensoleillement éventuel.

On présente ci-dessous les caractéristiques techniques du matériel utilisé :

Ondulateur 120/12V (1)	SINEWAVE modèle EA MEC 505 505-12A
Caméra (1)	PANASONIC modèle Color System CD1
Magnétoscope (1)	HITACHI modèle LAP TOP-AV HQ VHS
Centrale d'acquisition (1)	SM2i IOTECH modèle DAQBOOK SM-120 - carte températures : DBK 19 SM - carte tensions : DBK 8 SM1
Thermocouples (14)	Type K
Sondes vitesse d'air (3)	MTE modèle TAV-F10
Sondes hygrométriques (2)	PHILIPS
PC d'acquisition (1)	IBM modèle Thinkpad 720c

2.2.2. Positionnement des capteurs

La voiture a été instrumentée de façon à pouvoir connaître les données suivantes :

Vitesses d'air (3)	Températures d'air (4)	Températures de surface (9)	Humidité relative (2)
<ul style="list-style-type: none">• tête• mains (tableau de bord)• pieds	<ul style="list-style-type: none">• tête• mains (tableau de bord)• pieds• extérieur	<ul style="list-style-type: none">• vitre avant gauche• pare-brise• pavillon• porte avant gauche• Tableau de bord• Plancher• siège conducteur• siège passager• montants• planche arrière	<ul style="list-style-type: none">• intérieur de l'habitacle• extérieur de l'habitacle

On remarque que nous n'avons pas placé de thermocouple sur le volant, ceci pour un problème de connexion avec la centrale d'acquisition. L'instrumentation du volant, qui demande plus d'attention et plus de temps, a donc été abandonnée pour ces expériences. Il faudra quand même envisager une solution pour l'avenir.

2.2.3. Protection et fixation des capteurs

Nous avons trois sortes de capteurs dans la voiture.

La sonde hygrométrique et les 3 sondes à fil chaud pour la mesure des vitesses d'air sont montées sur des supports métalliques. Ces supports, qui permettent de modifier facilement la position et l'orientation des sondes, ont été fabriqués spécialement par le technicien PSA pour notre étude.

Les thermocouples températures de surface sont fixés à l'aide d'adhésifs. Sur les surfaces autres que les vitrages, ils sont fixés avec de l'adhésif ayant sensiblement la même couleur que la surface. Sur les surfaces vitrées, le thermocouple est fixé et aussi protégé du rayonnement avec un adhésif argenté (de forme circulaire). On a aussi, toujours pour éliminer les effets du rayonnement infrarouge, disposé le même type d'adhésif de l'autre côté du vitrage (Cf. Figure 2.2-a).

Les thermocouples températures d'air doivent aussi être protégés du rayonnement. On utilise pour cela une enveloppe cylindrique ($\phi = 10$ mm, $L = 20$ mm) en mylar aluminisé que l'on a rigidifiée avec de 2 bandes d'adhésif argenté et au centre de laquelle est placé l'extrémité du thermocouple.

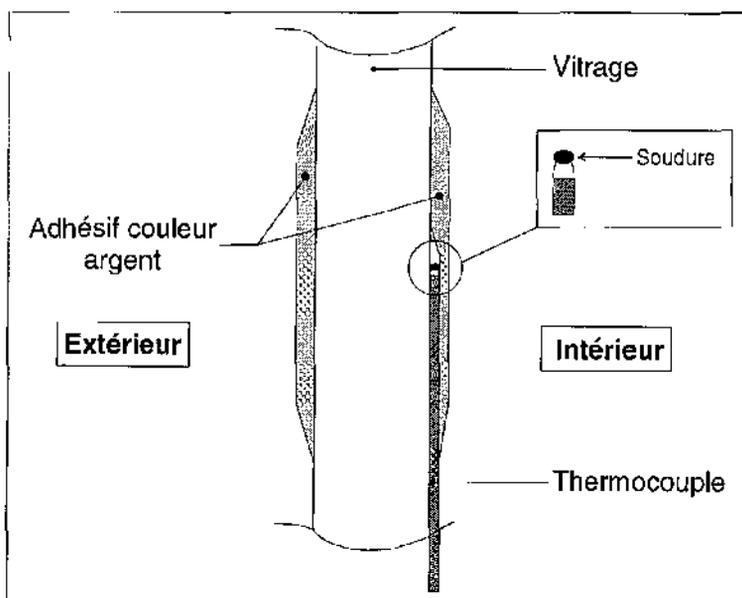


Figure 2.2-a : Protection des thermocouples sur les surfaces vitrées

3. RESULTATS DES ESSAIS

Les fichiers résultats nous ont été fournis par PSA. Le LESETH ne possède actuellement pas de copie des cassettes vidéo VHS enregistrées lors des essais. Avant de pouvoir utiliser les résultats expérimentaux pour des simulations, nous avons vérifié puis modifié tous les fichiers.

3.1. Résultats bruts

Pour chacun des 26 essais, il y a 2 fichiers. Le premier fichier contient les données correspondant aux relevés des différents capteurs (Cf. Figure 3.1-a et Figure 3.1-b), le second, les données fournies par la boîte à sensations (Cf. Figure 3.1-c).

Temps	1-OnOff	2-TdbCD	3-TeteCd	4-PiedCd	5-HumIN	1-VitAVG	2-PareBr	3-Pavill	4-BPAVG
08.20.20	4.96E+00	3.67E+00	1.35E+00	1.17E+00	0.53	1.07E+01	7.80E+00	1.11E+01	9.50E+00
08.21.20	4.98E+00	3.70E+00	1.24E+00	1.07E+00	0.53	1.08E+01	7.70E+00	1.07E+01	9.30E+00
08.22.20	5.07E+00	3.70E+00	1.17E+00	1.00E+00	0.53	1.07E+01	7.80E+00	1.08E+01	9.90E+00
08.23.20	4.98E+00	3.70E+00	1.74E+00	1.24E+00	0.53	1.06E+01	7.90E+00	1.13E+01	1.01E+01
08.24.20	4.96E+00	3.53E+00	1.14E+00	1.24E+00	0.53	1.02E+01	7.70E+00	1.09E+01	1.02E+01
08.25.20	5.07E+00	3.60E+00	1.43E+00	1.14E+00	0.53	1.03E+01	7.70E+00	1.08E+01	1.04E+01
...
...
09.23.20	5.06E+00	4.51E+00	7.35E+00	1.84E+00	0.53	1.65E+01	1.14E+01	1.92E+01	2.00E+01
09.24.20	5.07E+00	4.34E+00	7.98E+00	1.84E+00	0.53	1.68E+01	1.14E+01	1.93E+01	2.01E+01
09.25.20	4.48E+00	4.09E+00	6.20E+00	2.09E+00	0.53	1.66E+01	1.12E+01	1.90E+01	2.01E+01

Figure 3.1-a : Fichier Sxx.txt (début)

5-PlaTdb	6-PlaAVG	7-SieCD	8-AirPav	9-SieAVD	10-PBAVG	11-NC	12-AirPi	13-AirTr	14-PIAR
1.20E+01	9.10E+00	2.45E+01	1.33E+01	1.08E+01	9.00E+00	1.57E+01	7.30E+00	1.40E+01	9.90E+00
1.20E+01	9.20E+00	2.49E+01	1.24E+01	1.09E+01	8.70E+00	1.50E+01	7.40E+00	1.30E+01	1.01E+01
1.20E+01	9.20E+00	2.56E+01	1.25E+01	1.08E+01	8.90E+00	1.56E+01	7.90E+00	1.39E+01	1.02E+01
1.23E+01	9.70E+00	2.64E+01	1.33E+01	1.12E+01	9.40E+00	1.58E+01	9.00E+00	1.41E+01	1.06E+01
1.25E+01	9.70E+00	2.70E+01	1.35E+01	1.15E+01	9.60E+00	1.63E+01	9.30E+00	1.41E+01	1.09E+01
1.26E+01	9.70E+00	2.73E+01	1.37E+01	1.12E+01	9.40E+00	1.61E+01	9.20E+00	1.46E+01	1.11E+01
...
...
2.73E+01	1.73E+01	3.26E+01	2.72E+01	2.17E+01	1.77E+01	3.23E+01	2.31E+01	2.70E+01	2.14E+01
2.74E+01	1.74E+01	3.24E+01	2.63E+01	2.20E+01	1.80E+01	3.25E+01	2.36E+01	2.66E+01	2.14E+01
2.72E+01	1.75E+01	3.23E+01	2.56E+01	2.18E+01	1.82E+01	3.22E+01	2.45E+01	2.60E+01	2.11E+01

Figure 3.1-b : Fichier Sxx.txt (fin)

minute	tete	tronc	bras_d	bras_g	mains	jambes	pieds	global
1	6	4	5	5	5	5	5	5
2	6	4	5	5	5	5	5	4
3	6	4	5	5	5	5	5	4
4	6	4	5	5	5	5	5	4
5	6	4	5	5	5	5	5	4
6	5	4	5	5	5	5	4	4
...
...
9	5	4	5	5	5	5	4	4
10	5	4	5	5	5	5	4	4
11	5	4	5	5	5	5	4	4

Figure 3.1-c : Fichier Txx.res

On remarque l'absence des relevés concernant les données extérieures (Température et humidité relative) car les capteurs correspondant ont été défaillants. On remarque également une colonne intitulée 11-NC qui est en fait 11-AirTdbCD (Température d'air sur le tableau de bord proche des mains).

3.2. Traitement des fichiers

Avant de pouvoir interpréter les résultats de tous les essais, il est nécessaire de modifier les fichiers d'expériences de façon à les rendre plus lisibles et plus facilement exploitables.

Nous avons modifié le nom mais aussi l'ordre des colonnes dans le fichier des données expérimentales. Nous avons également modifié la colonne correspondant au temps dans les 2 fichiers. L'origine est maintenant la valeur 0 qui correspond à la première acquisition. On a ensuite une valeur toutes les minutes.

Il a aussi été nécessaire de recalibrer la valeur des 3 vitesses d'air. Nous avons retranché 0.81 m/s à toutes les vitesses car les sondes n'étaient pas étalonnées correctement.

On présente ci-dessous un exemple pour chacun des fichiers :

Temps	Vair-tete	Vair-mains	Vair-pieds	HR	Tair-tete	Tair-tronc	Tair-mains	Tair-pieds	VitreAvG
0	0.54	2.86	0.36	0.53	13.30	14.00	15.70	7.30	10.70
1	0.43	2.89	0.26	0.53	12.40	13.00	15.00	7.40	10.80
2	0.36	2.89	0.19	0.53	12.50	13.90	15.60	7.90	10.70
3	0.93	2.89	0.43	0.53	13.30	14.10	15.80	9.00	10.60
4	0.33	2.72	0.43	0.53	13.50	14.10	16.30	9.30	10.20
5	0.62	2.79	0.33	0.53	13.70	14.60	16.10	9.20	10.30
...
...
63	6.54	3.70	1.03	0.53	27.20	27.00	32.30	23.10	16.50
64	7.17	3.53	1.03	0.53	26.30	26.60	32.50	23.60	16.80
65	5.39	3.28	1.28	0.53	25.60	26.00	32.20	24.50	16.60

Figure 3.2-a : Fichier Sxx.xls (début)

Pare-Brise	Pavillon	PorteAvG	TdB	Plancher	SiegeCd	SiegeP	Montants	PlancheArr
7.80	11.10	9.50	12.00	9.10	24.50	10.80	9.00	9.90
7.70	10.70	9.30	12.00	9.20	24.90	10.90	8.70	10.10
7.80	10.80	9.90	12.00	9.20	25.60	10.80	8.90	10.20
7.90	11.30	10.10	12.30	9.70	26.40	11.20	9.40	10.60
7.70	10.90	10.20	12.50	9.70	27.00	11.50	9.60	10.90
7.70	10.80	10.40	12.60	9.70	27.30	11.20	9.40	11.10
...
...
11.40	19.20	20.00	27.30	17.30	32.60	21.70	17.70	21.40
11.40	19.30	20.10	27.40	17.40	32.40	22.00	18.00	21.40
11.20	19.00	20.10	27.20	17.50	32.30	21.80	18.20	21.10

Figure 3.2-b : Fichier Sxx.xls (fin)

minute	tête	tronc	bras_d	bras_g	mains	jambes	pieds	globale
0	6	4	5	5	5	5	5	5
1	6	4	5	5	5	5	5	4
2	6	4	5	5	5	5	5	4
3	6	4	5	5	5	5	5	4
4	6	4	5	5	5	5	5	4
5	5	4	5	5	5	5	4	4
...
...
63	5	5	5	5	5	5	5	5
64	5	5	5	5	5	5	5	5
65	5	5	5	5	5	5	5	5

Figure 3.2-c : Fichier Txx.xls

3.3. Courbes expérimentales

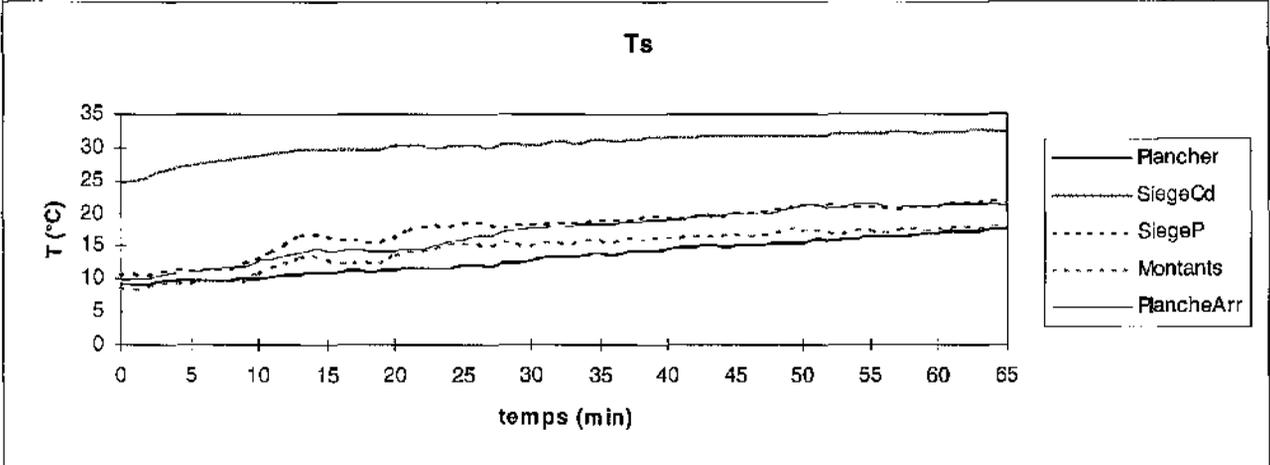
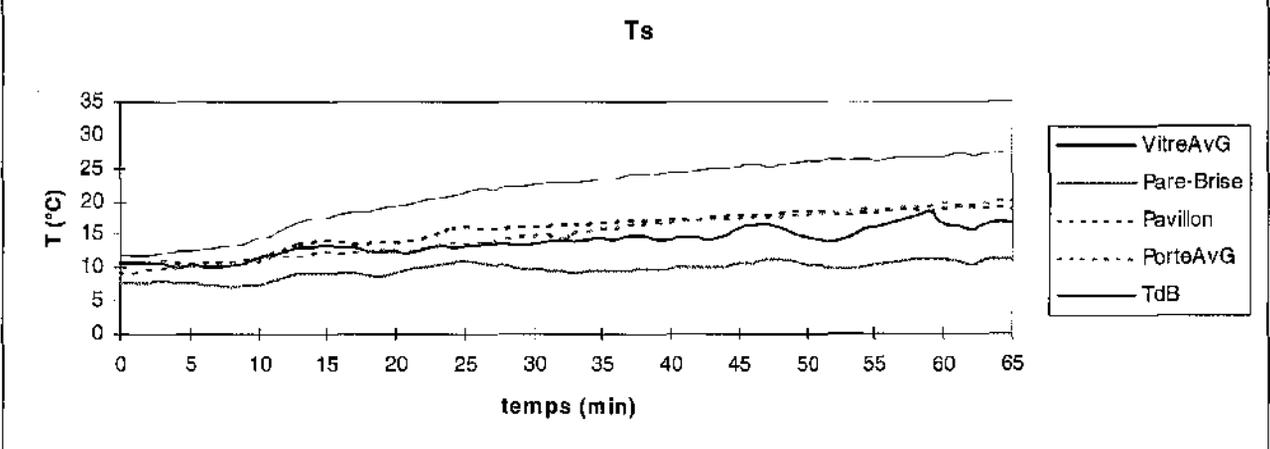
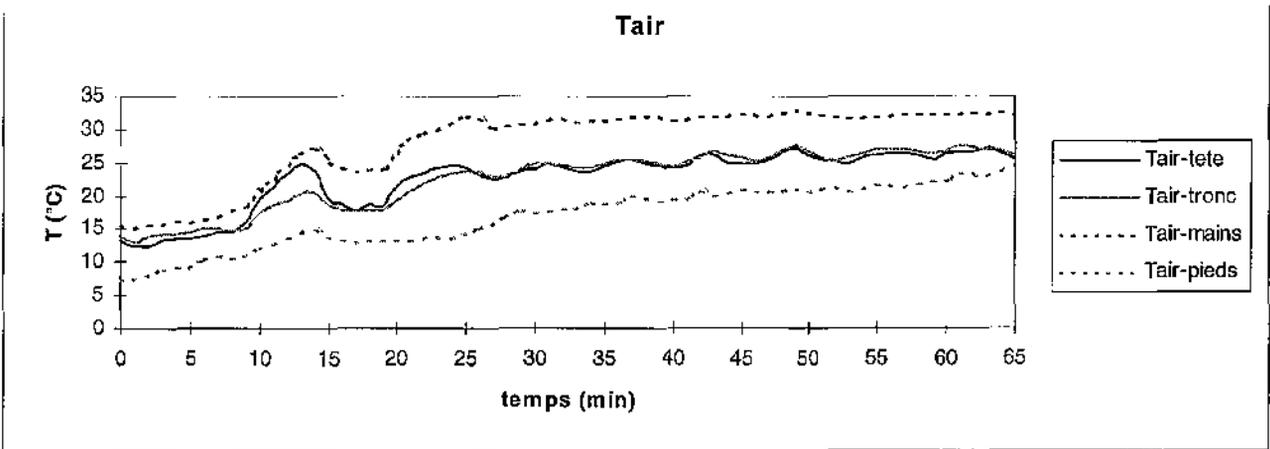
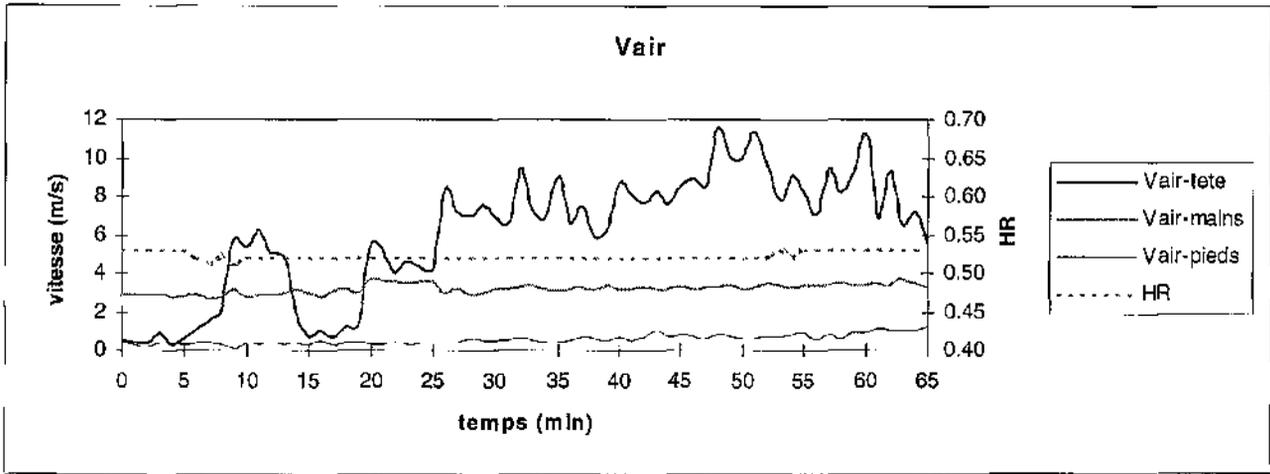
Nous présentons les résultats expérimentaux sous la forme de courbes afin de pouvoir les analyser plus facilement. Nous séparons les données sur l'habitacle des données recueillies par la boîte à sensations. L'ensemble des graphes se trouve dans l'annexe du présent rapport.

3.3.1. Données relatives à l'habitacle

Pour chaque essai, on a 4 graphes :

- **Vair** → 3 courbes représentant les 3 vitesses d'air + 1 courbe représentant l'humidité relative ;
- **Tair** → 4 courbes représentant les 4 températures à proximité du conducteur ;
- 2 graphes **Ts** → 5 courbes représentant les températures des surfaces de l'habitacle.

Essai n°1

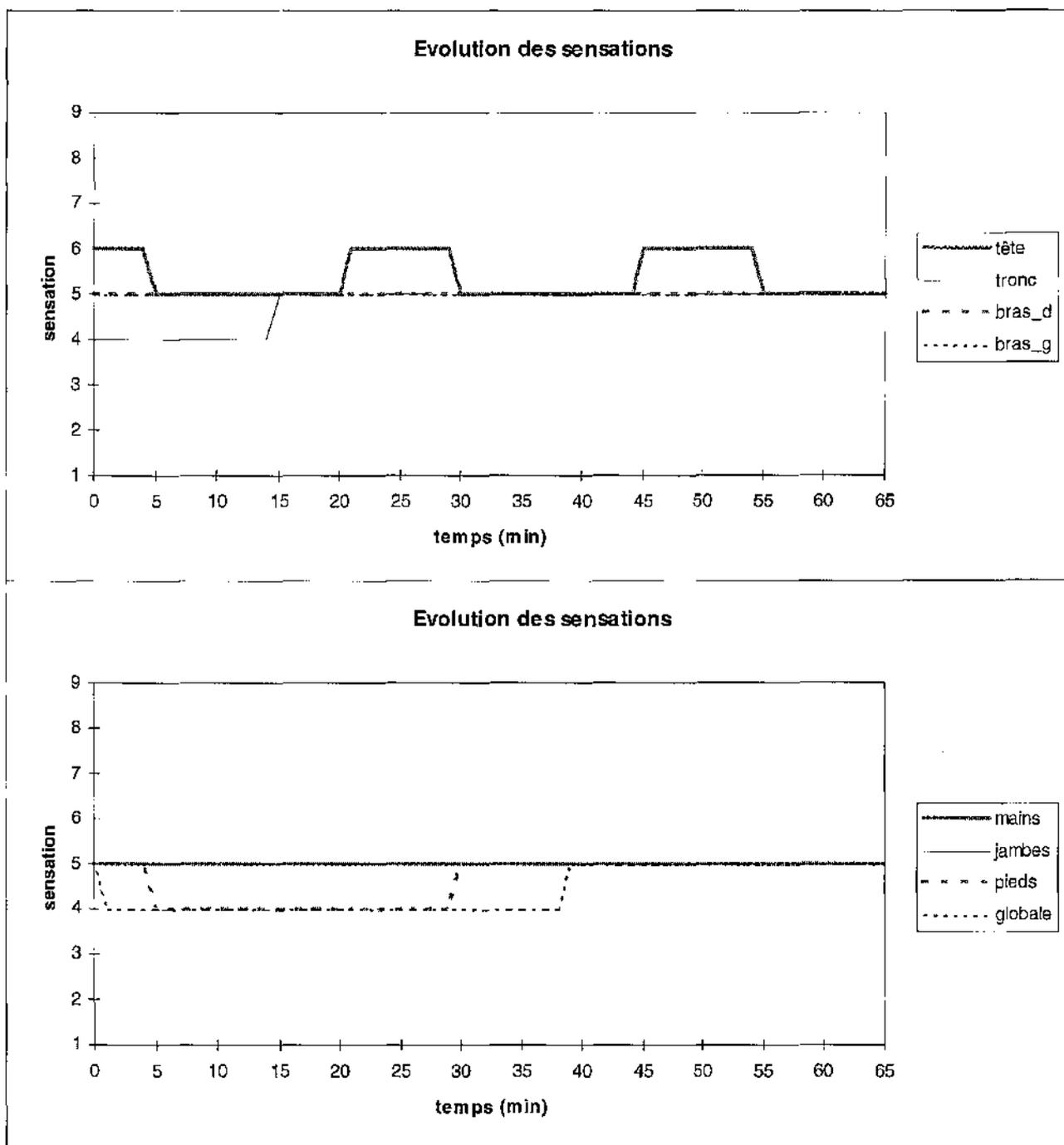


3.3.2. Données relatives aux sensations

Pour chaque essai, on représente l'évolution des données enregistrées par la boîte à sensations :

- 1 graphe représentant les sensations au niveau de la tête, du tronc et des 2 bras ;
- 1 graphe représentant les sensations au niveau des mains, des jambes, des pieds et la sensation globale.

Essai n°1



3.4. Influence de la vitesse au niveau des mains

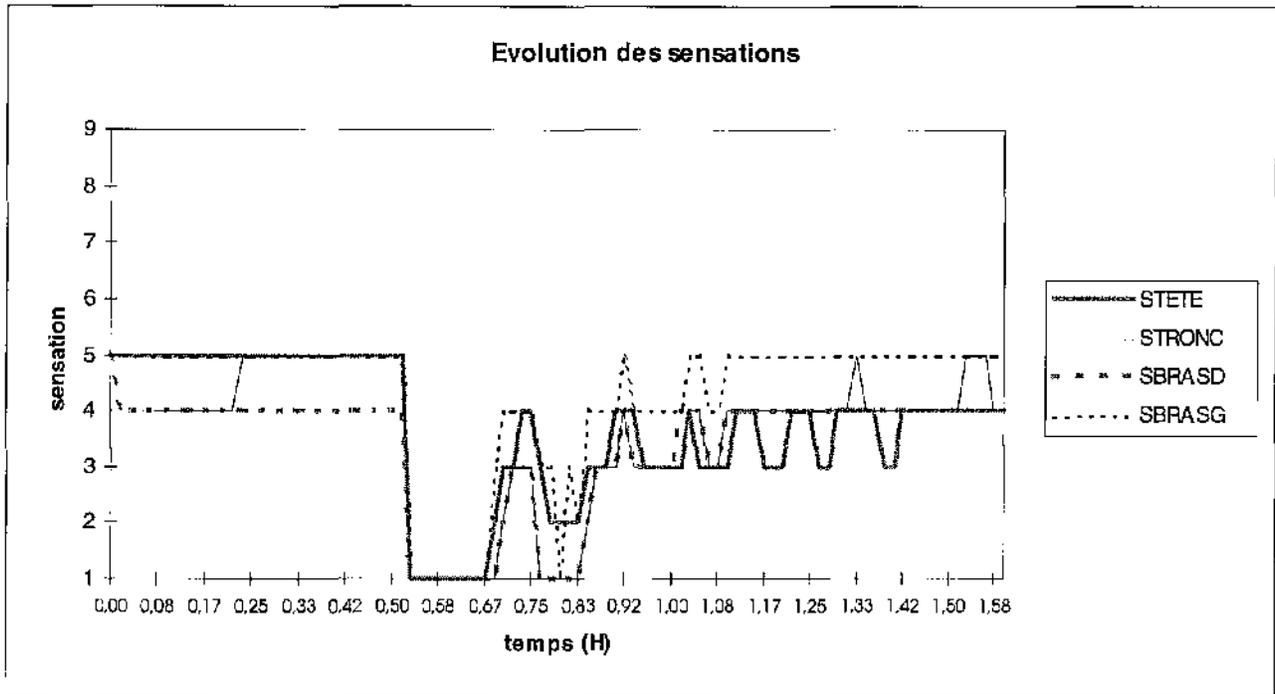
Après avoir tracé les courbes expérimentales, on remarque une anomalie au niveau de la vitesse appelée Vair-mains. Cette vitesse est anormalement élevée. En effet, dès le début de chaque expérience, elle est de l'ordre 3 m/s alors que les 2 autres vitesses mesurées sont plus proches de 0 m/s. Seul l'aérateur situé à gauche du tableau de bord est ouvert en direction de la vitre avant gauche. La sonde de vitesse d'air Vair-mains est placée en amont et à droite de l'aérateur. Le pulseur de soufflage étant à zéro, la vitesse enregistrée par cette sonde anormalement élevée.

Nous n'avons pour l'instant aucune explications à donner.

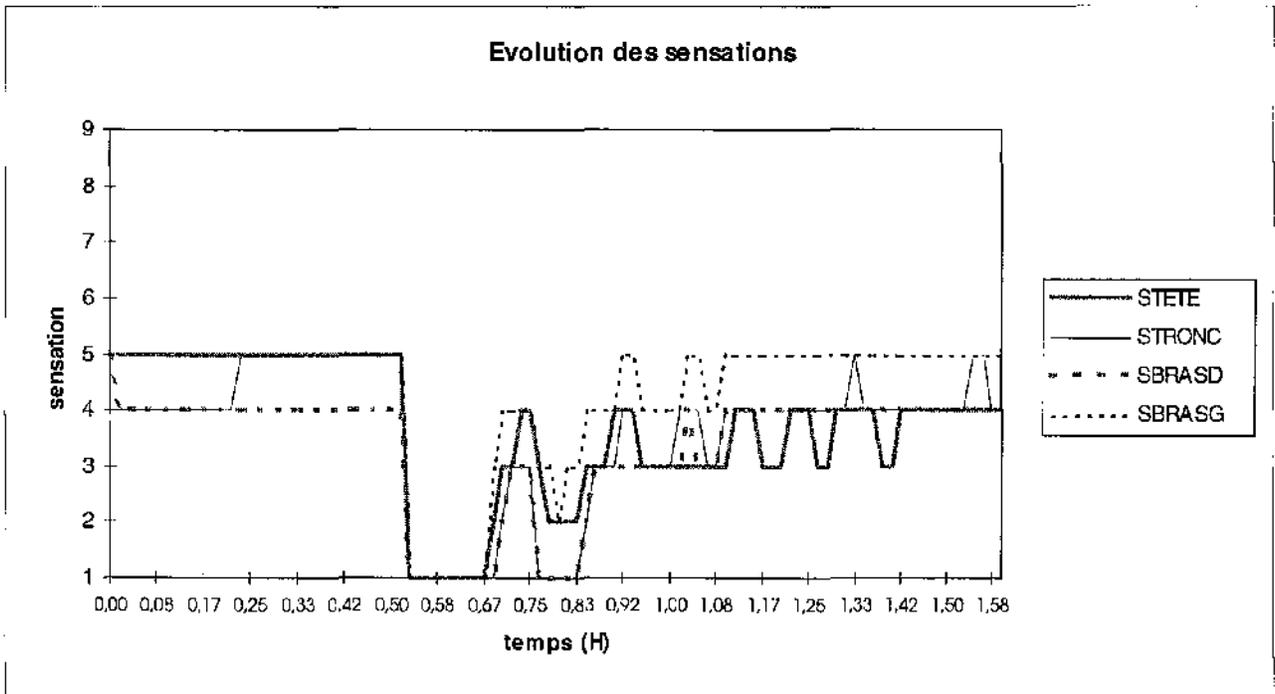
Avant d'utiliser les résultats des essais avec cette vitesse anormalement élevée, nous avons testé l'influence de celle-ci sur les sensations. Nous avons simulé l'essai n°1 avec 2 configurations différentes. La première simulation (Cf. Graphe 3.4-a et Graphe 3.4-c) utilise les vitesses effectivement enregistrées lors de l'expérience. Dans la deuxième (Cf. Graphe 3.4-b et Graphe 3.4-d), nous avons remplacé Vair-Mains par Vair-pieds (celle-ci étant plus conforme). Nous présentons ci-dessous le résultat des 2 simulations du point de vue des sensations. On retrouve les sensations simulées sur les 7 segments plus la sensation globale pour les 2 simulations.

On ne cherche pas pour l'instant à comparer le résultat des simulations avec le résultat des expériences, on cherche seulement à quantifier l'effet de la vitesse d'air proche des mains sur les simulations.

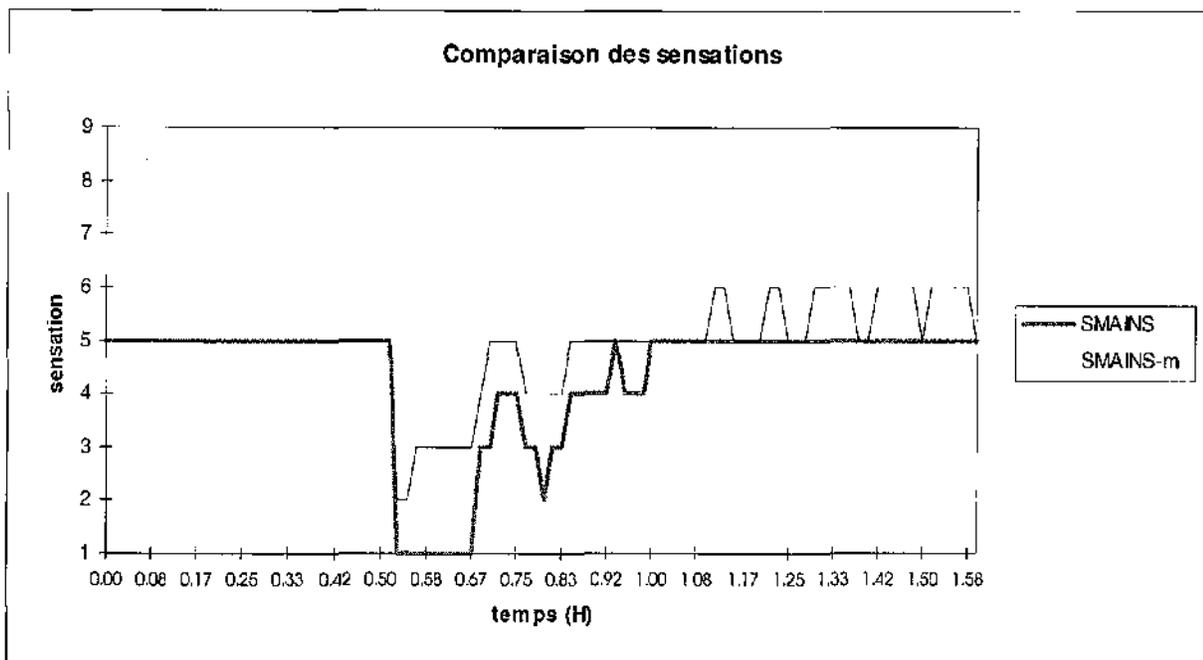
On remarque que la vitesse d'air influence surtout la sensation au niveau des mains (Cf. Graphe 3.4-e). Vair-mains est aussi utilisé pour calculer la vitesse d'air au niveau des bras ($V_{\text{air-bras}} = (V_{\text{air-tête}} + V_{\text{air-mains}})/2$). La sensation sur les bras est quasiment identique pour les deux simulations. Les autres sensations ne sont pas influencées par la vitesse d'air au niveau des mains. Même la sensation globale (Cf. Graphe 3.4-f) reste pratiquement identique pour les deux simulations.



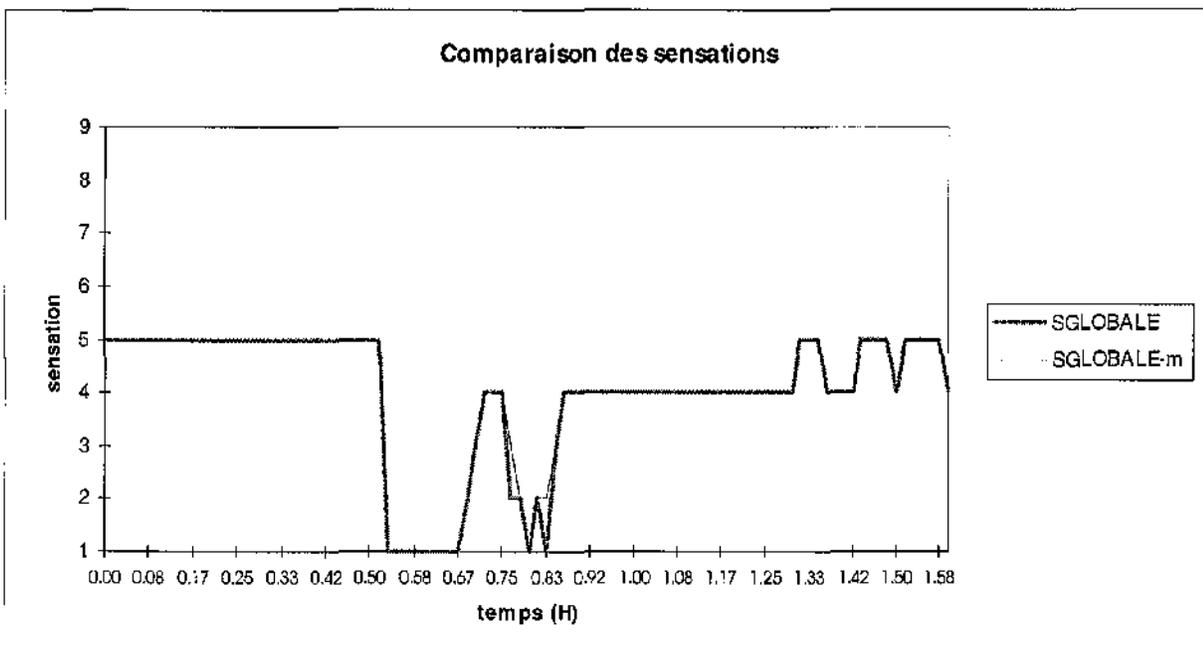
Graphe 3.4-a : Sensations simulées sans modification du fichier expérimental



Graphe 3.4-b : Sensations simulées avec modification de Vair-mains



Graphe 3.4-e : Comparaison de la sensation simulée au niveau des mains



Graphe 3.4-f : Comparaison de la sensation simulée globale

En attendant d'avoir plus de précision sur l'anomalie concernant la vitesse d'air proche des mains, et au vu de l'influence de celle-ci sur les sensations, on utilisera la vitesse enregistrée lors des expériences pour les simulations.

3.5. Analyse sommaire des expériences

Une analyse rapide des résultats des expériences nous permet déjà de faire les remarques suivantes :

- les conditions climatiques ne sont pas caractéristiques d'une expérience en hiver ;
- la gamme de sensations observée est très étroite ;
- les sensations enregistrées expérimentalement sont plus élevées que celles que laissent prévoir les premières simulations.

CONCLUSION

La phase de travail que nous venons de terminer, même si elle ne n'amène pas encore de solution au chauffage d'une voiture électrique, a été nécessaire. Il était important de préparer et d'adapter le logiciel de simulation aux besoins de notre étude. D'autres modifications pourront éventuellement être traitées au fur à mesure de l'avancée des travaux.

La réalisation d'expériences in-situ sur véhicule électrique permet maintenant d'avoir une base de données expérimentales intéressante. Nous nous sommes attachés à présenter les résultats d'une façon claire et facilement exploitable. On dispose pour chaque essai de 2 fichiers (exploitable dans EXCEL). On a tracé les courbes expérimentales pour tous les essais.

Pour passer à la phase de simulation, nous choisirons les essais les plus significatifs. Ces essais, choisis en accord avec le LAA, serviront de base de travail pour la suite de l'étude. Nous utiliserons en priorité le résultat de ces simulations pour la recherche de solutions au chauffage du véhicule.

Des essais complémentaires sur un échantillon de quatre personnes viennent d'être réalisés afin de vérifier la reproductibilité des expériences (notamment en ce qui concerne les réactions des conducteurs). L'analyse de ces essais ainsi que le résultat des simulations feront l'objet du prochain rapport.

ANNEXES

Annexe A : Graphes relatifs aux données sur l'habitable

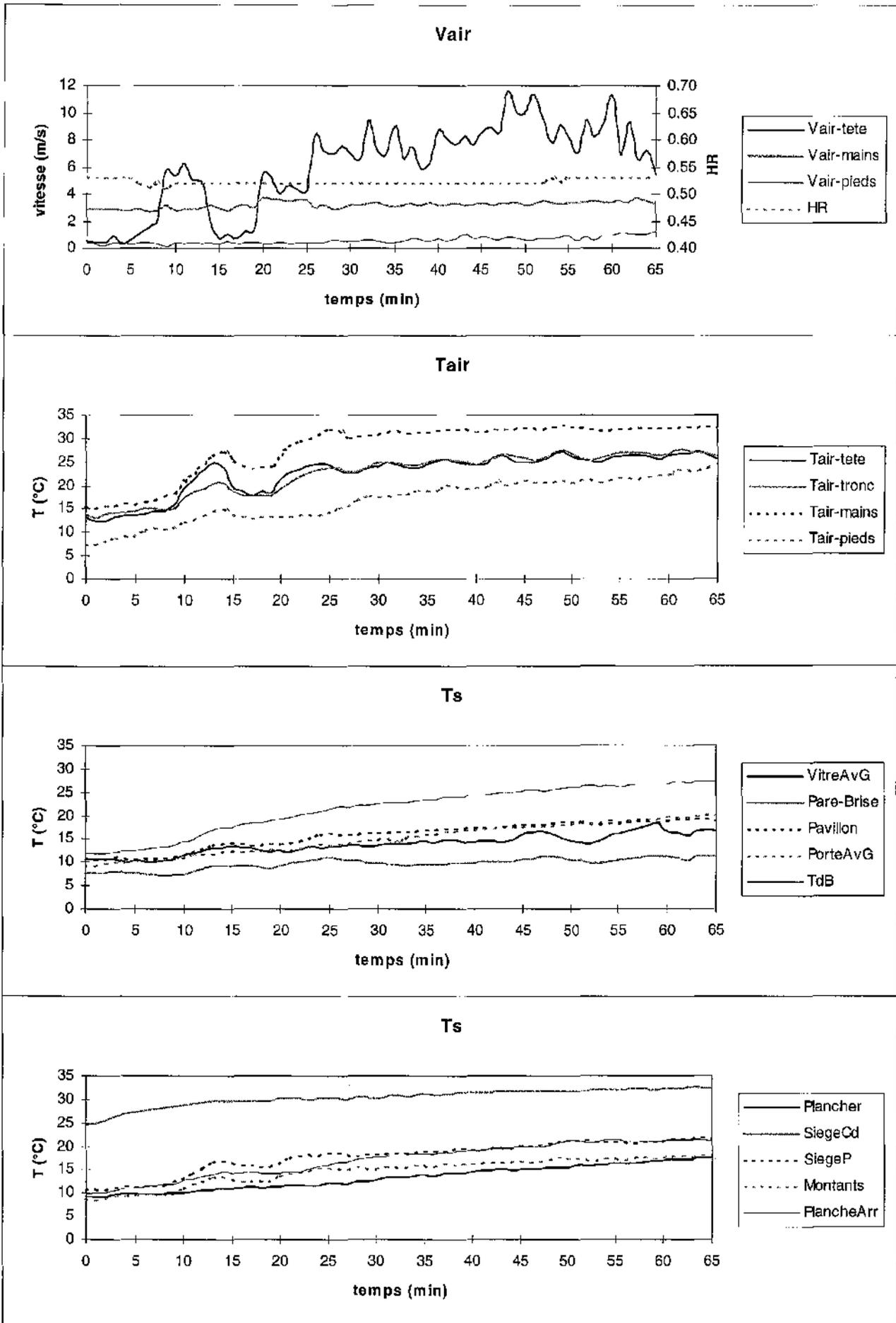
Annexe B : Graphes relatifs aux sensations

Annexe C : Comparaison entre les résultats de simulation avec TrnSys version 13.1 (Mac) et avec TrnSys version 14.2 (PC)

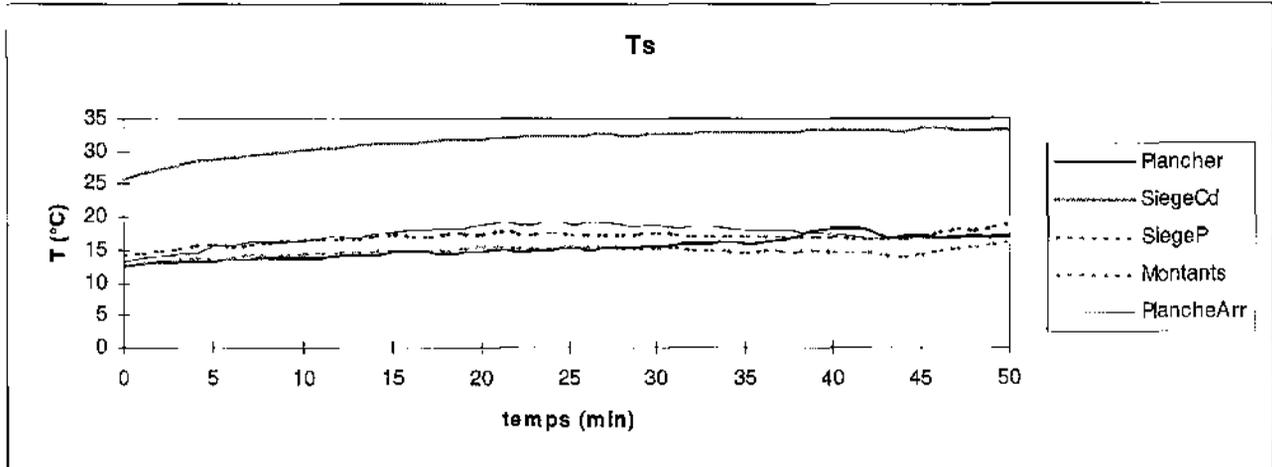
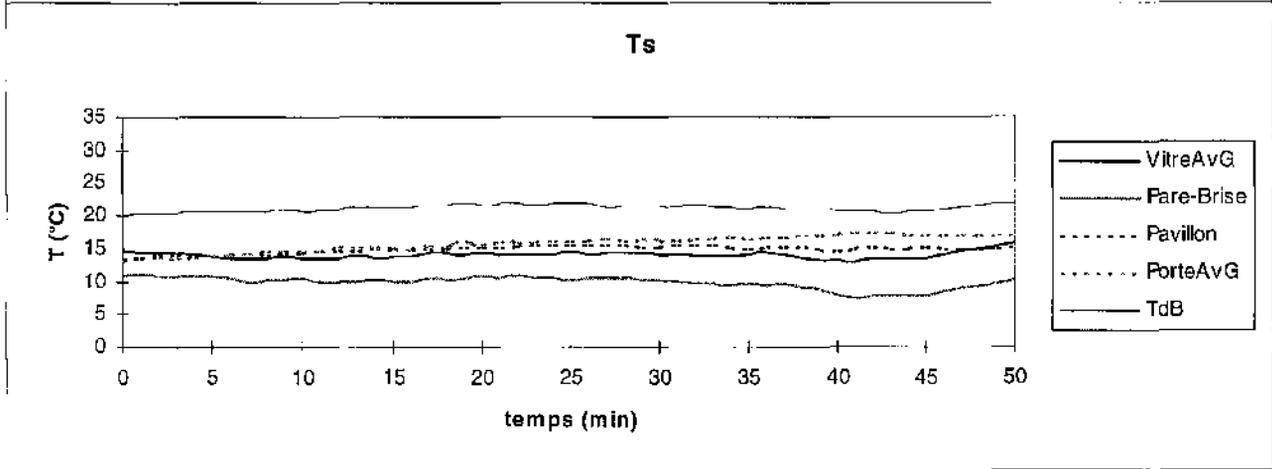
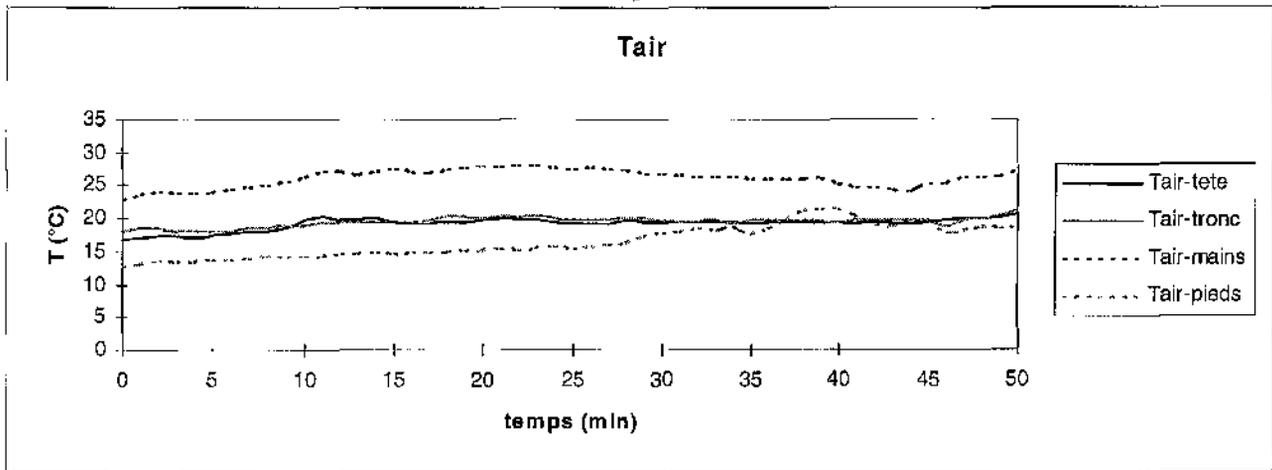
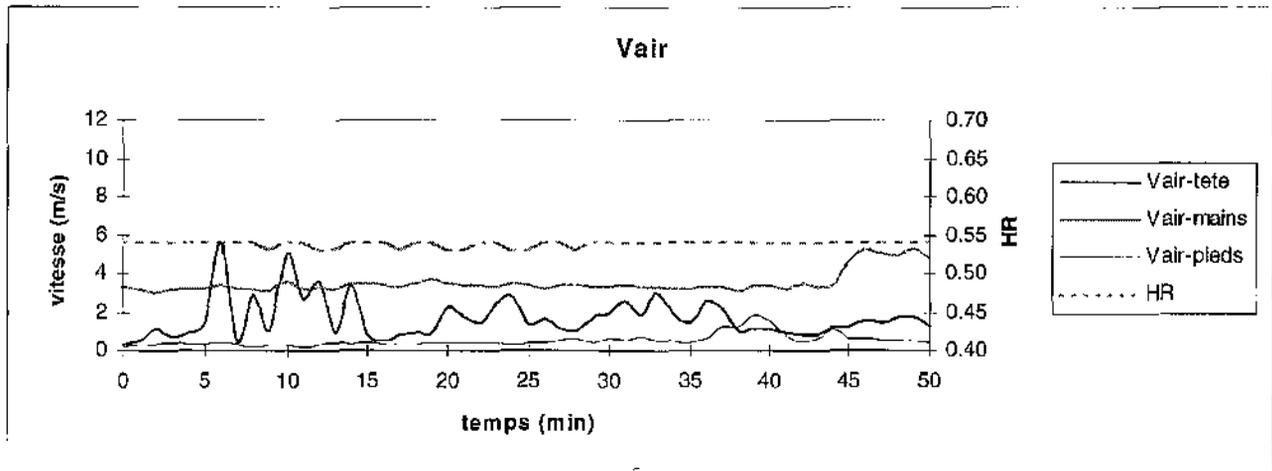
ANNEXE A

Graphes relatifs aux données sur l'habitable

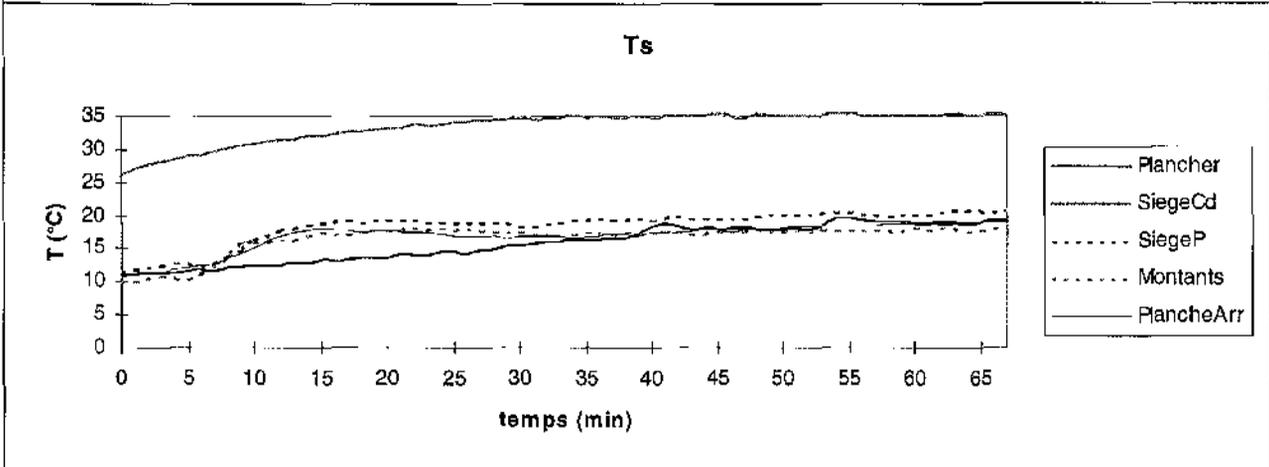
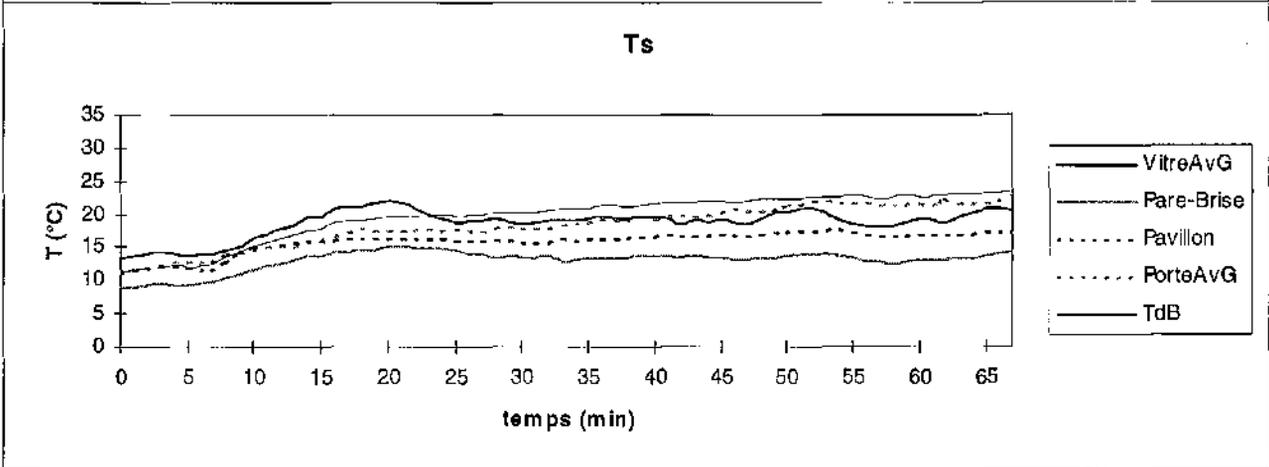
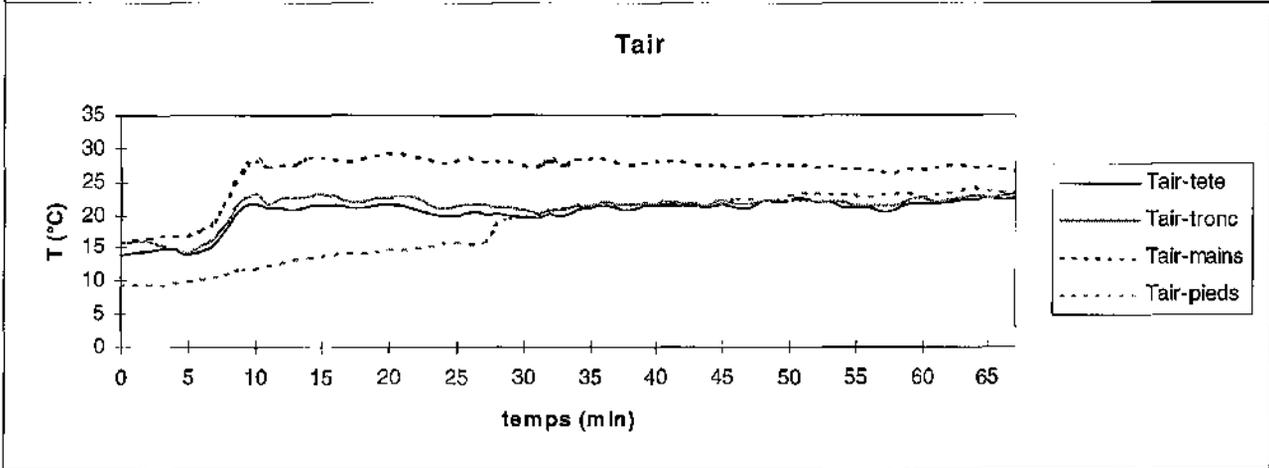
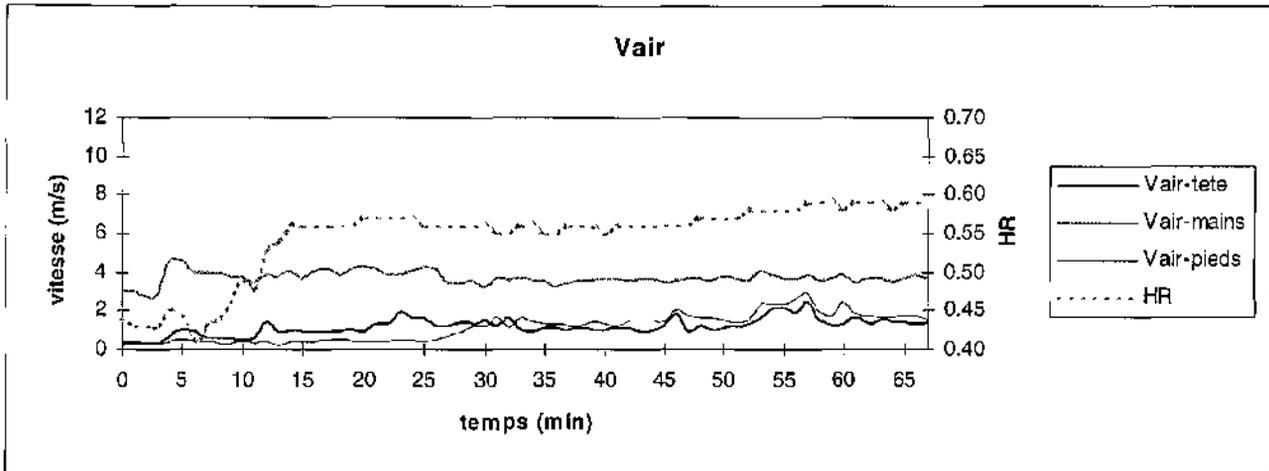
Essai n°1



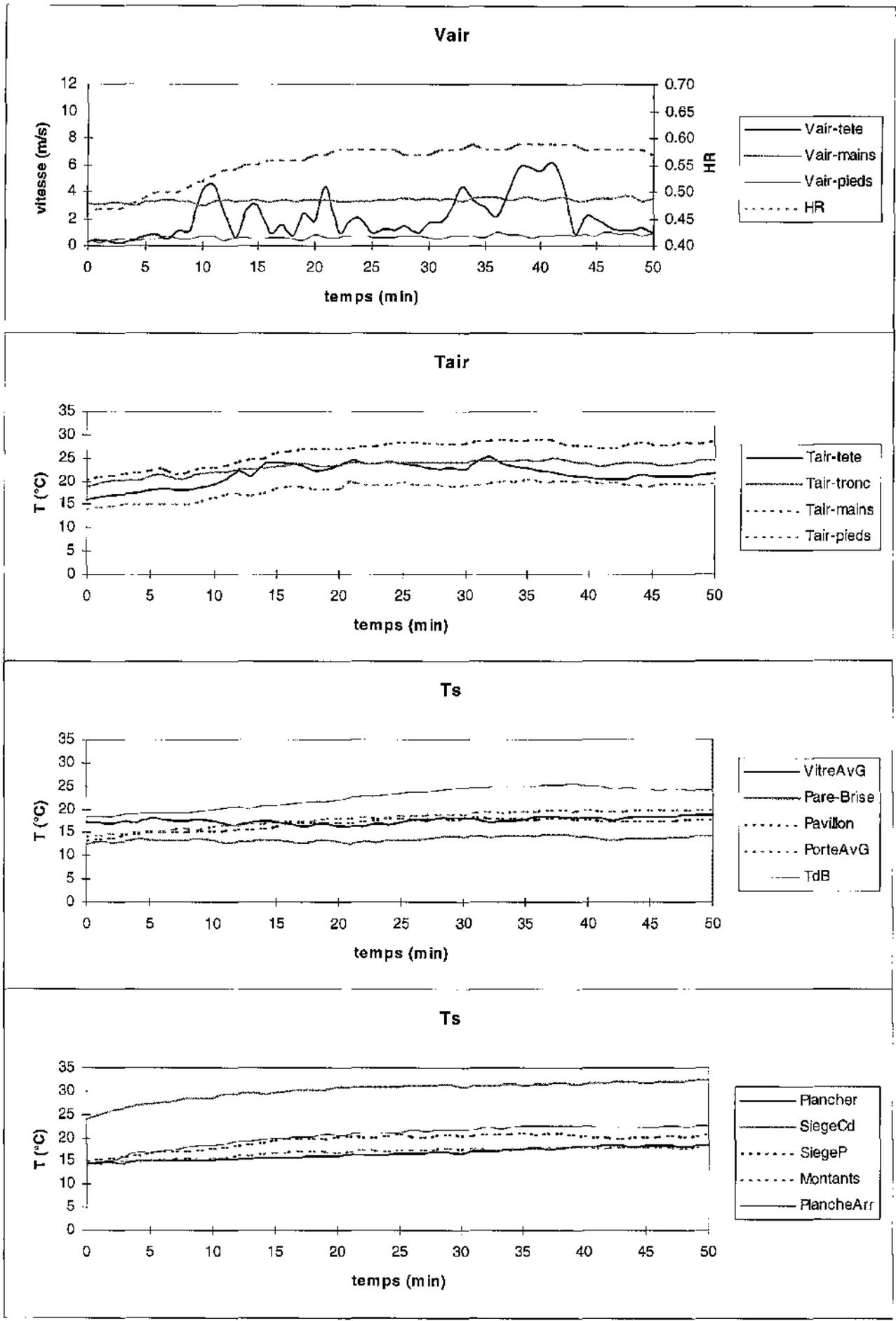
Essai n°2



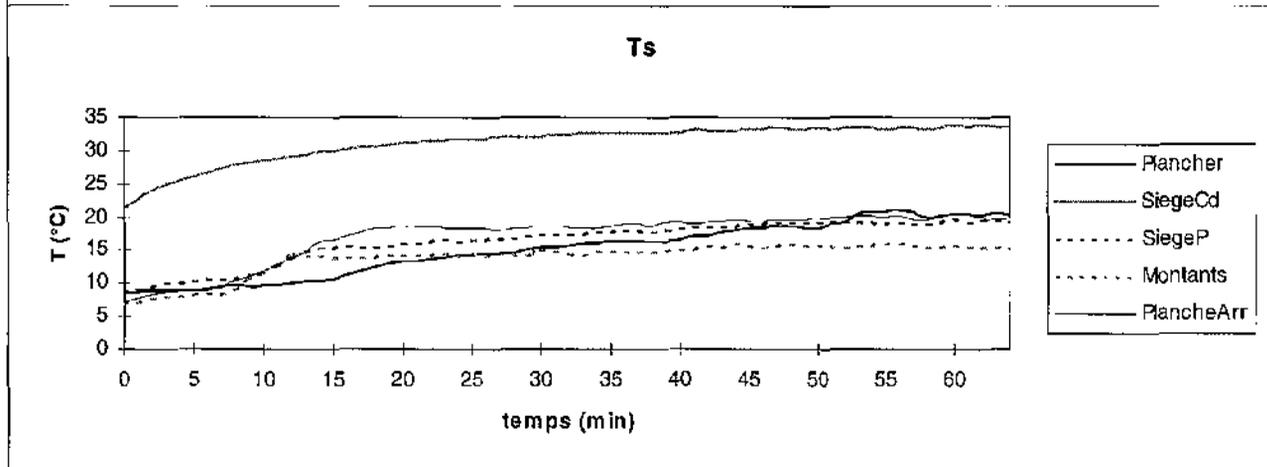
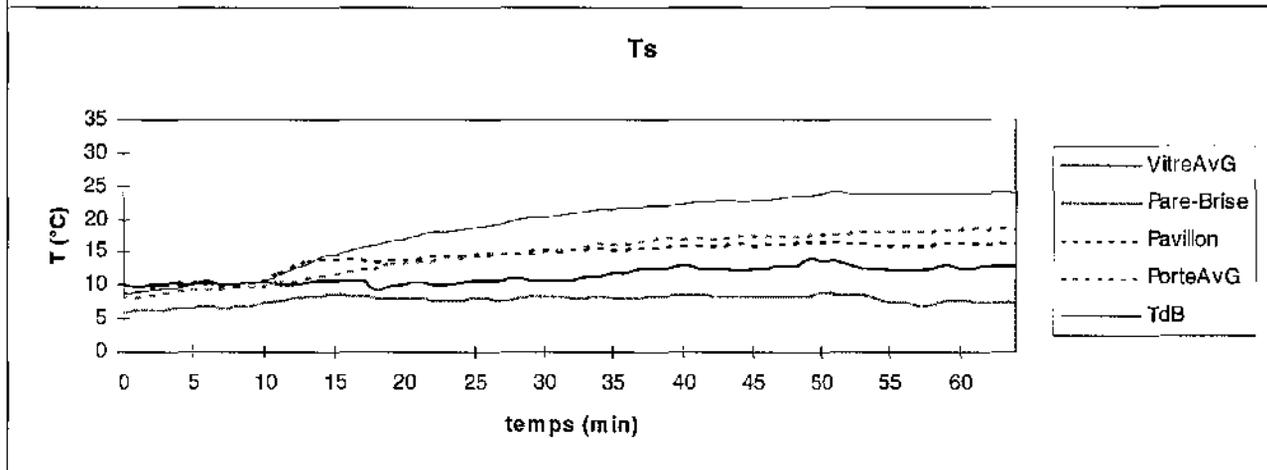
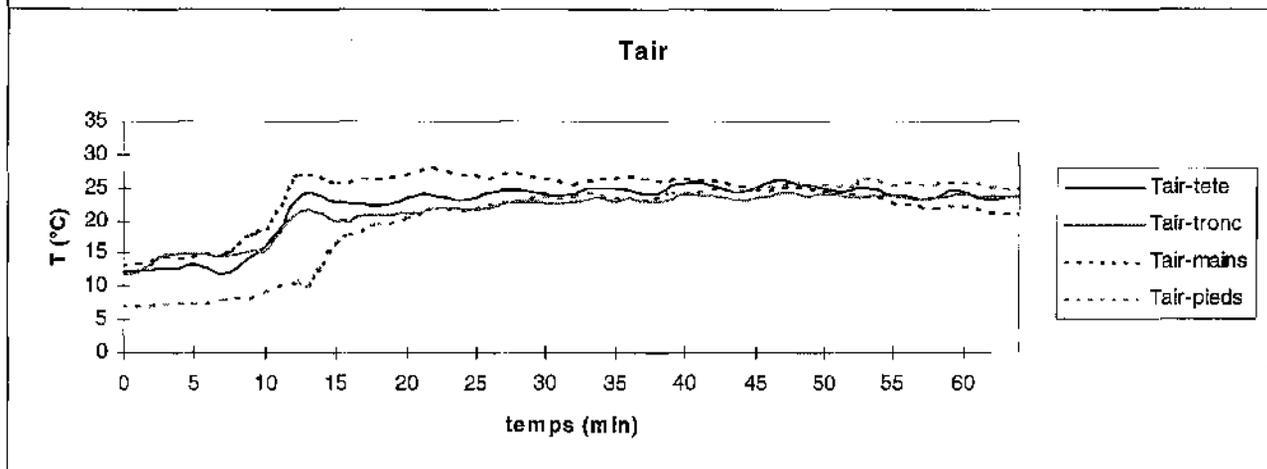
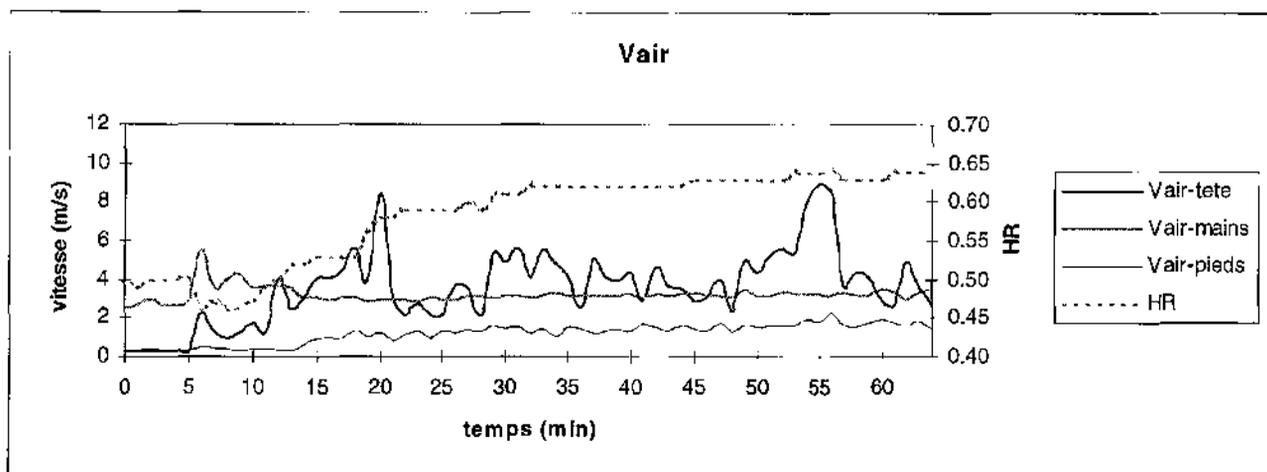
Essai n°3



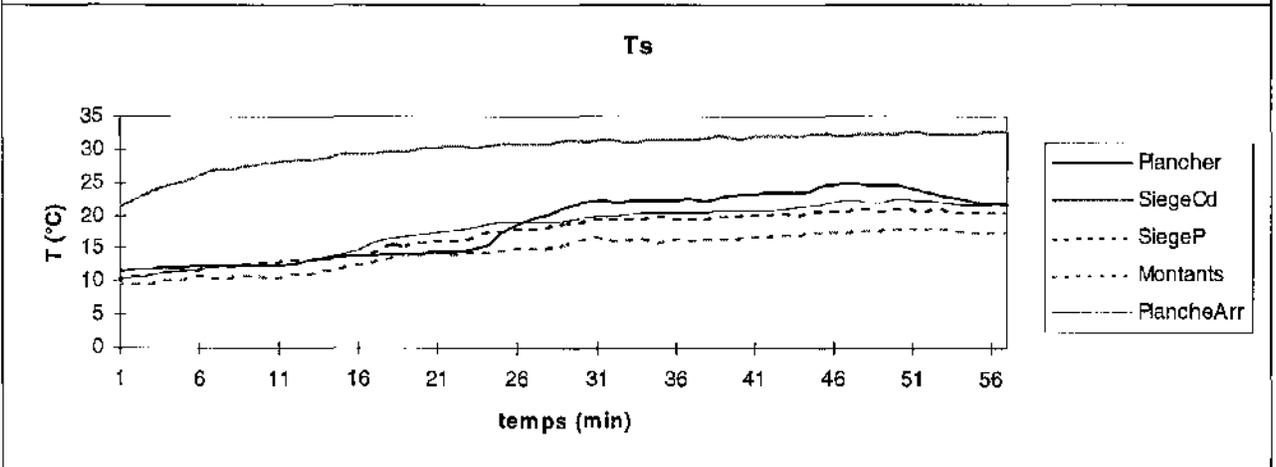
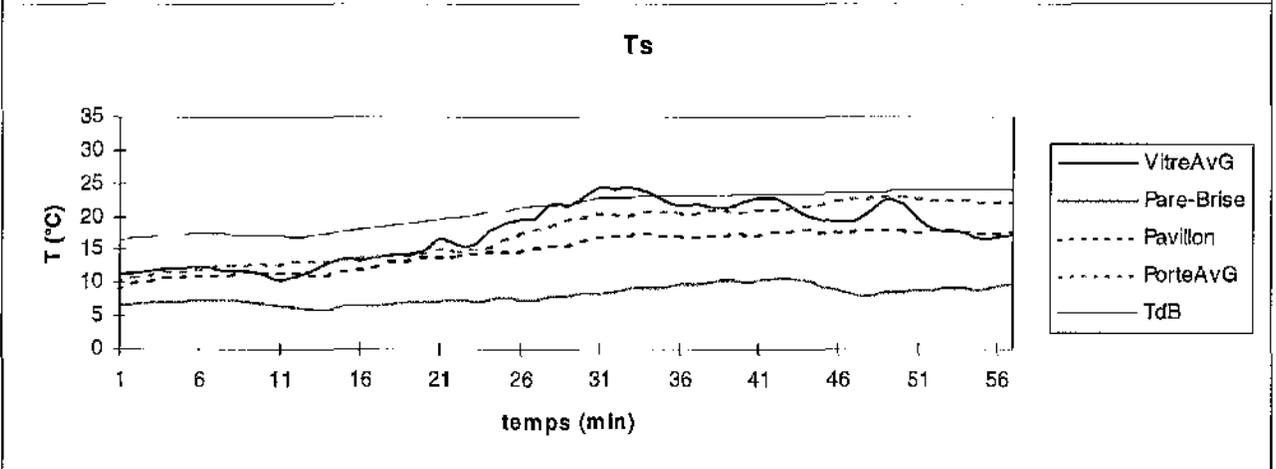
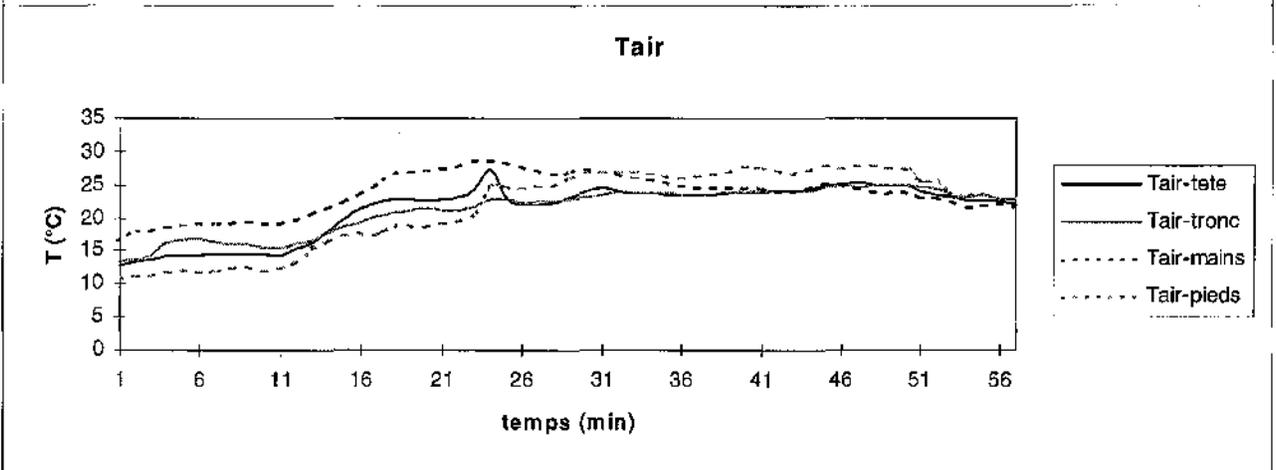
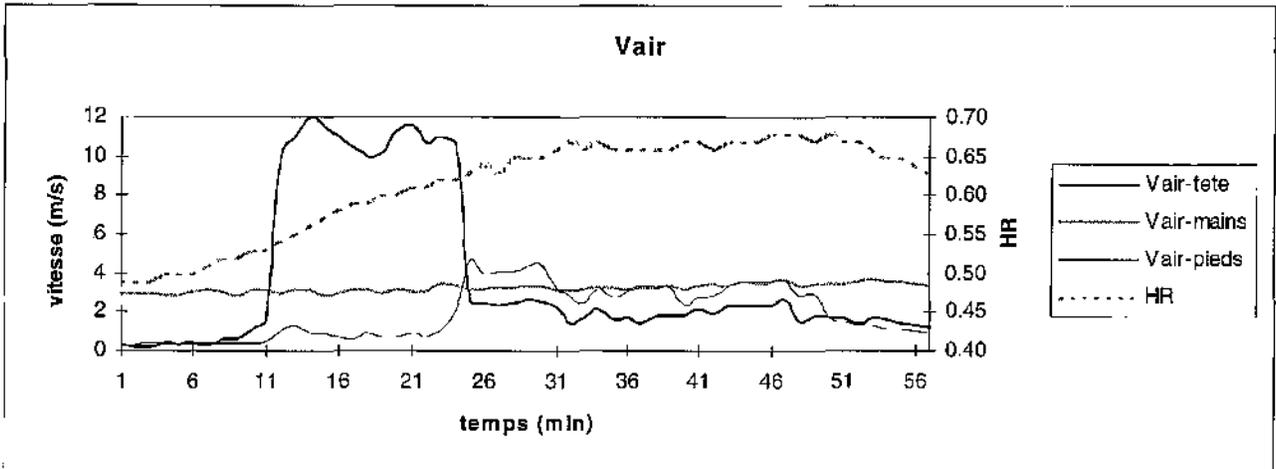
Essai n°4



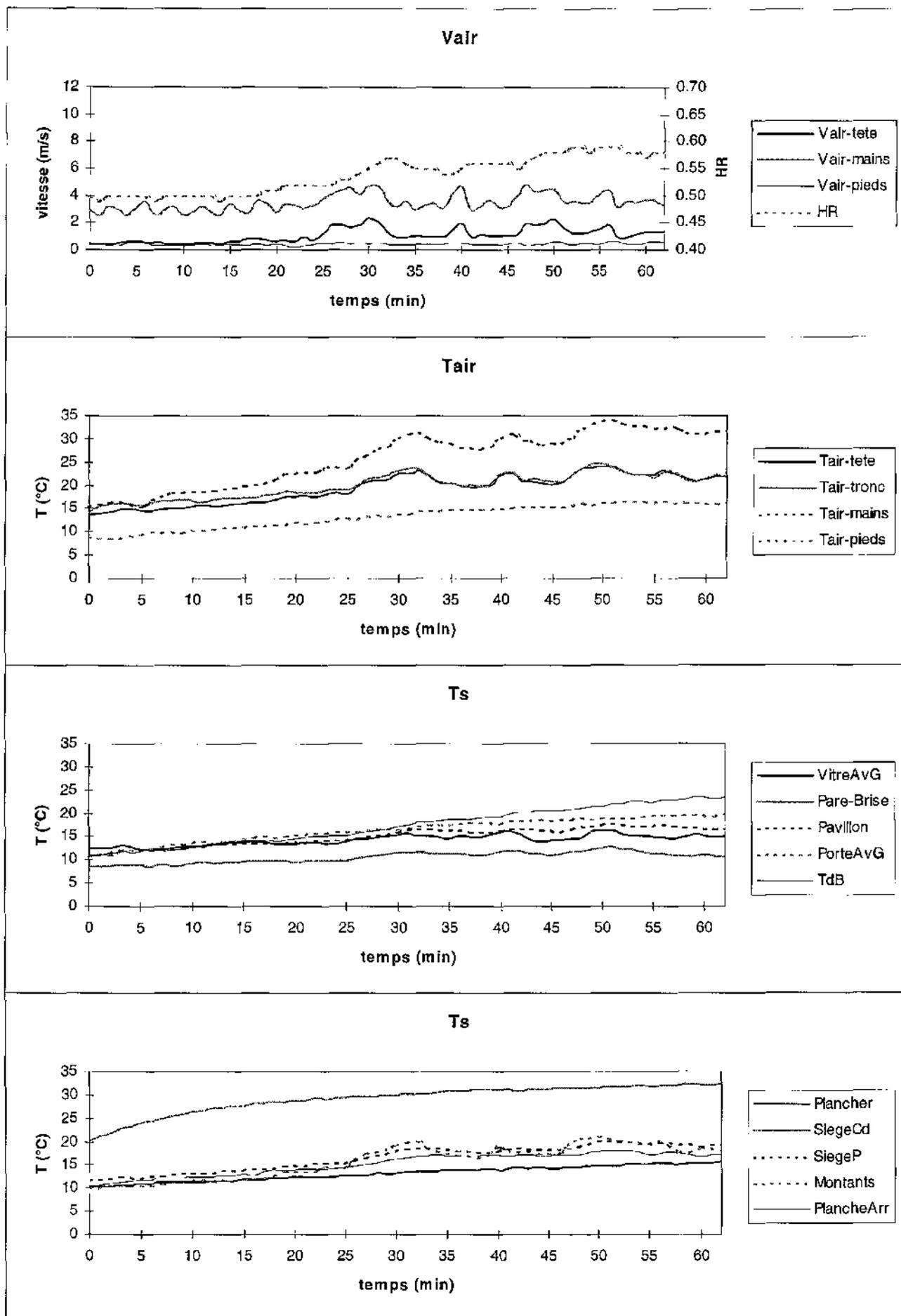
Essai n°5



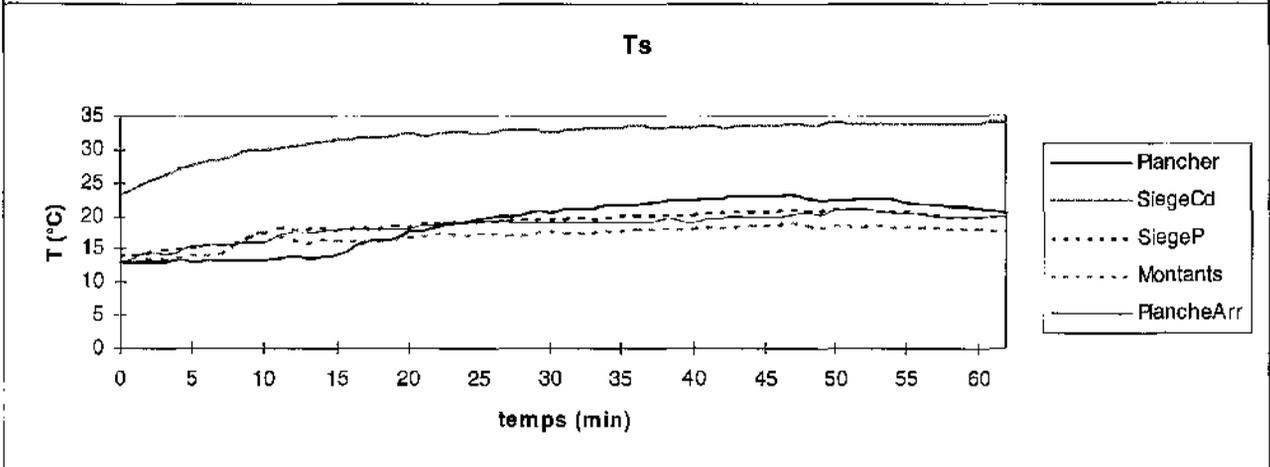
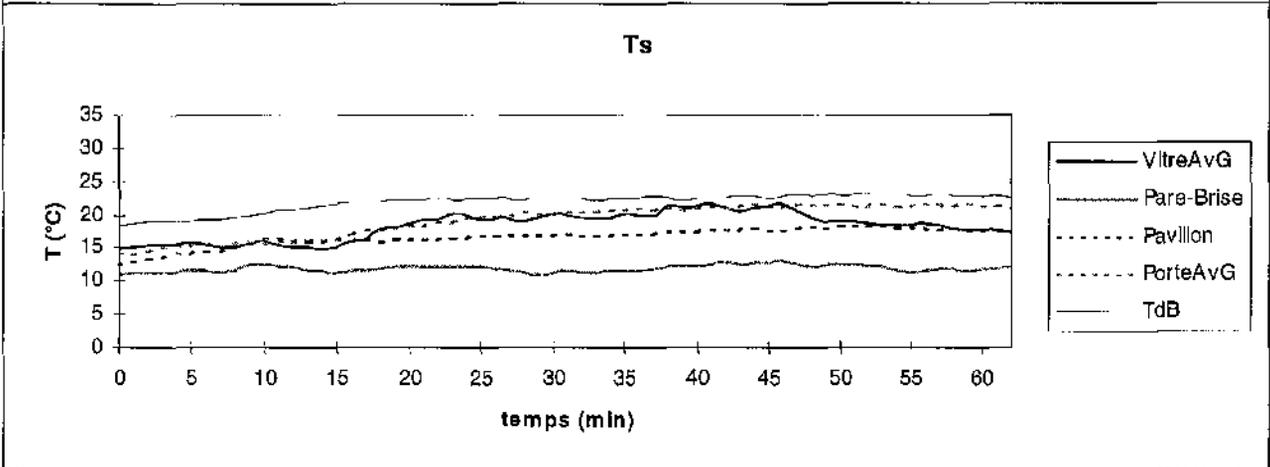
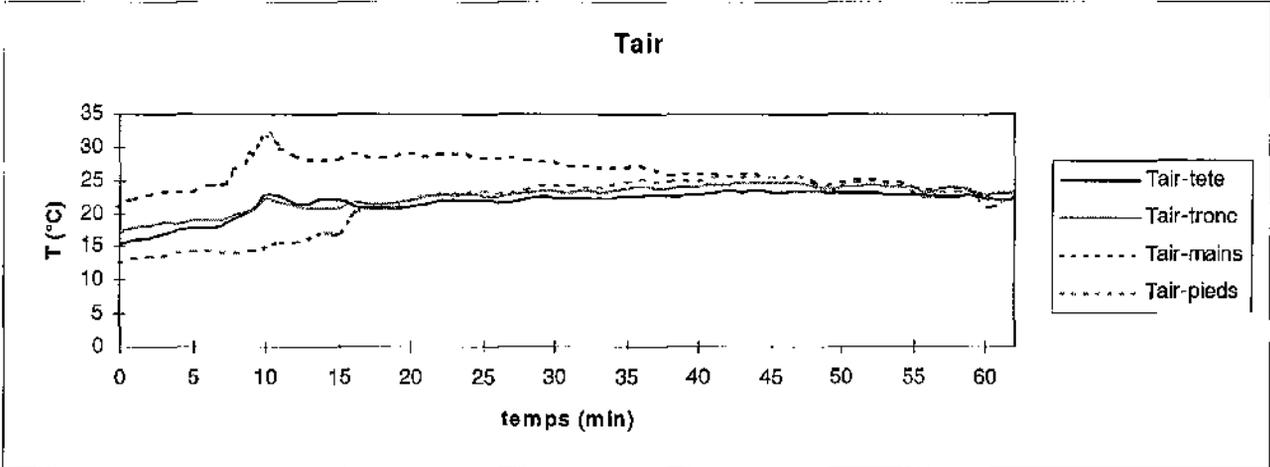
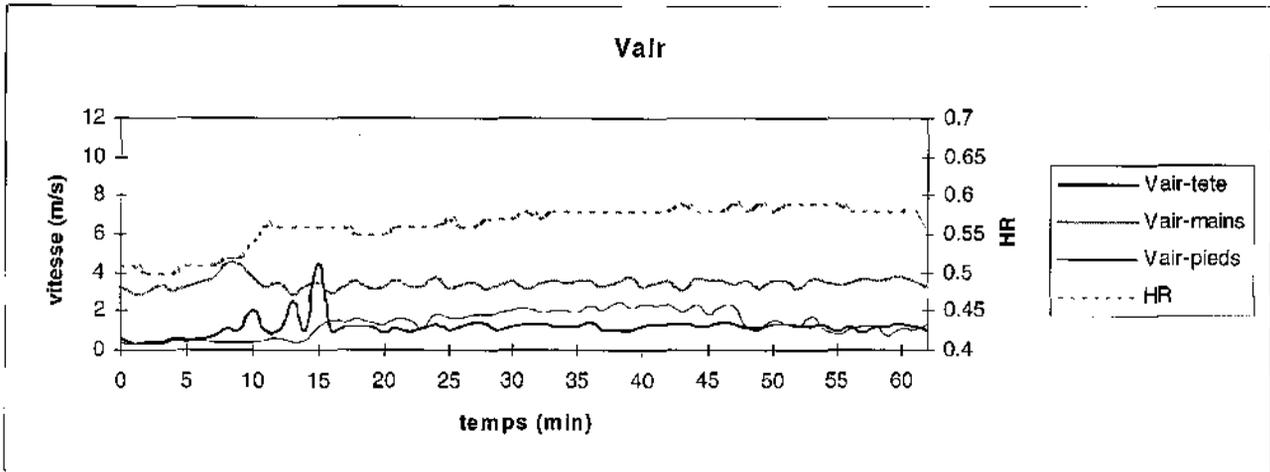
Essai n°6



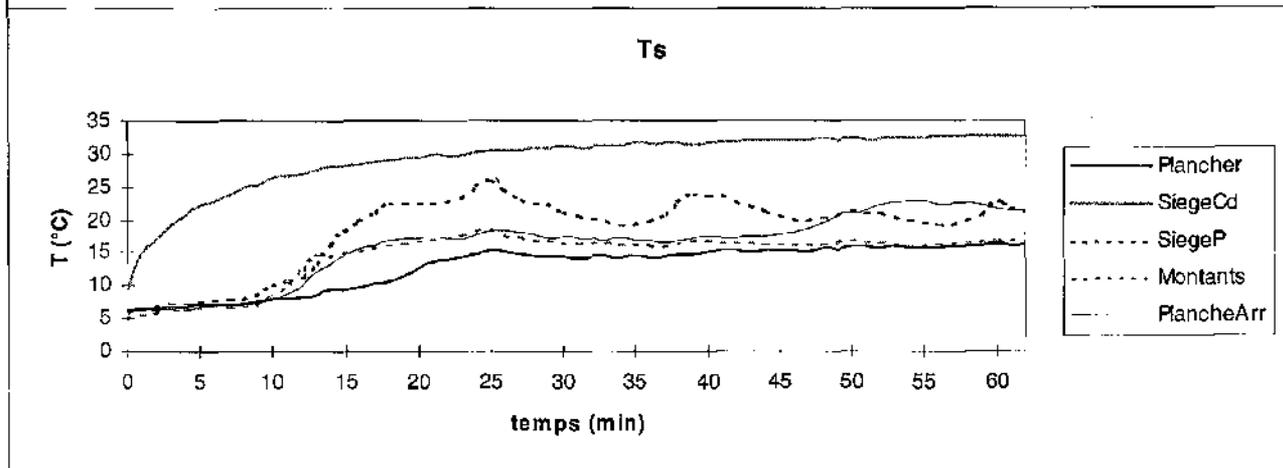
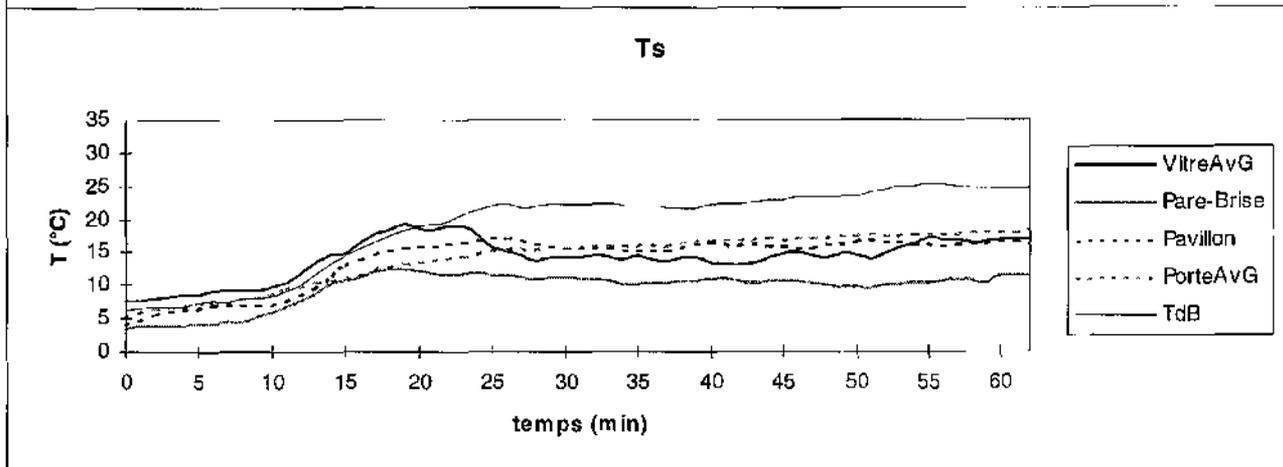
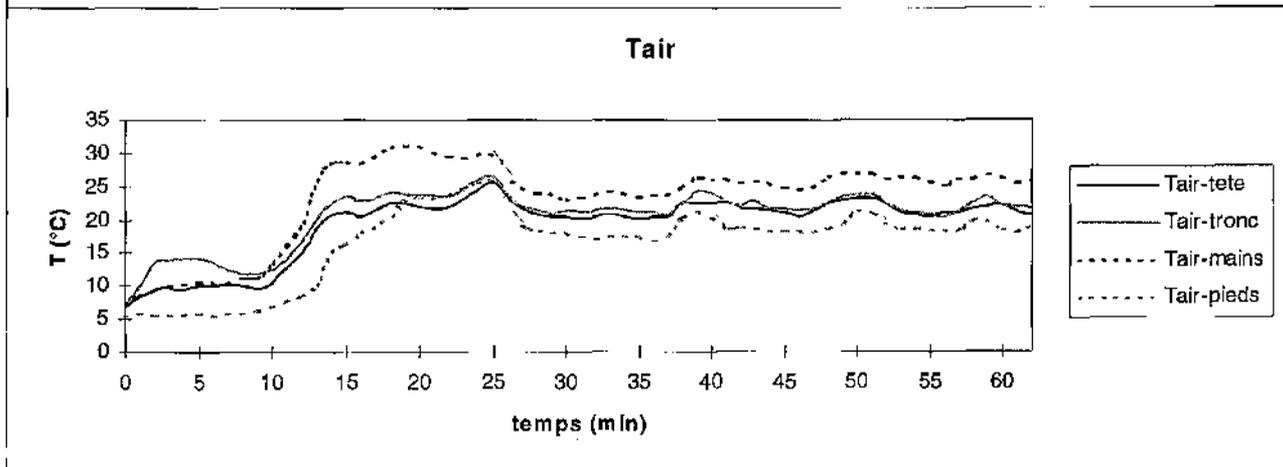
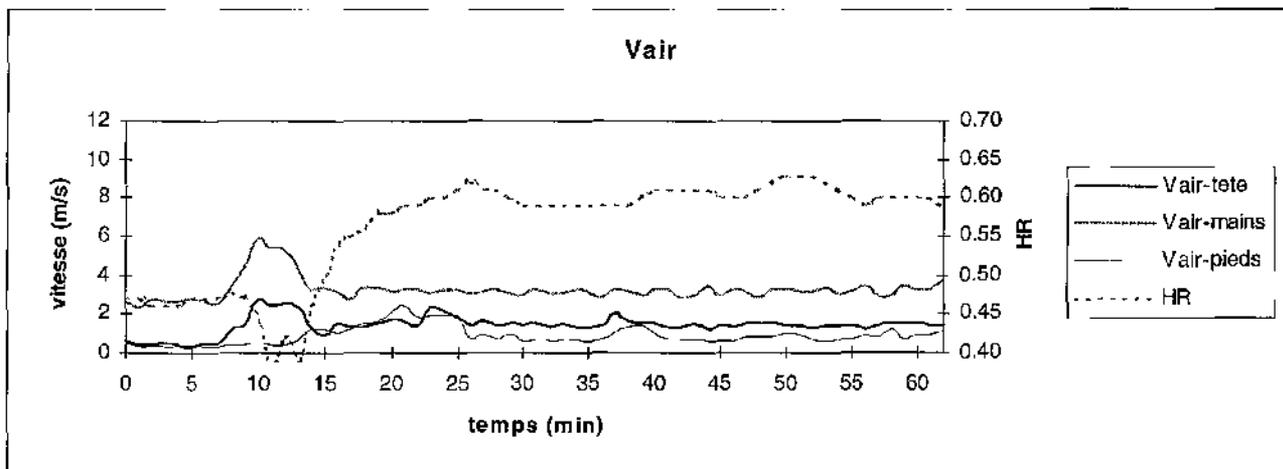
Essai n°7



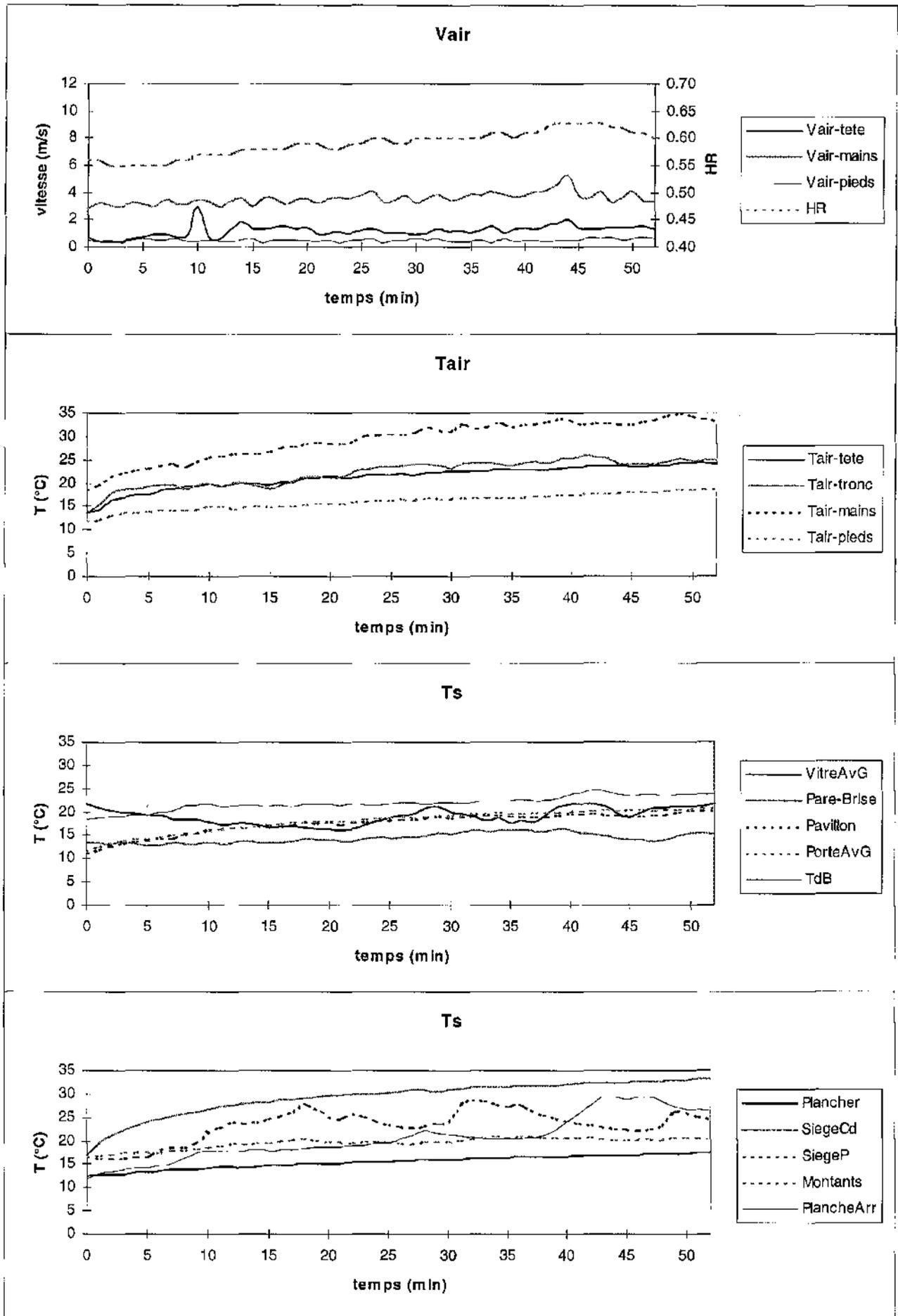
Essai n°8



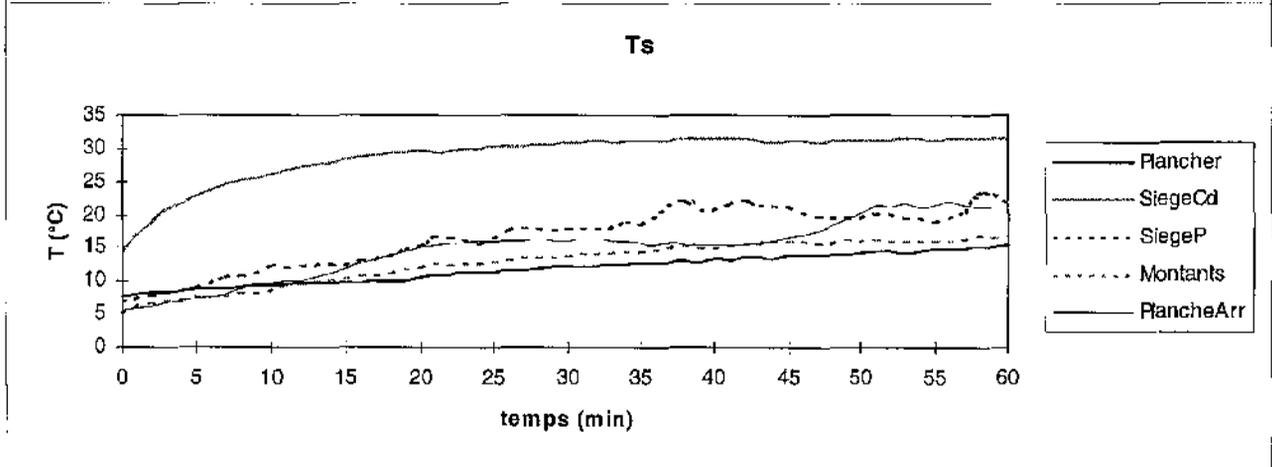
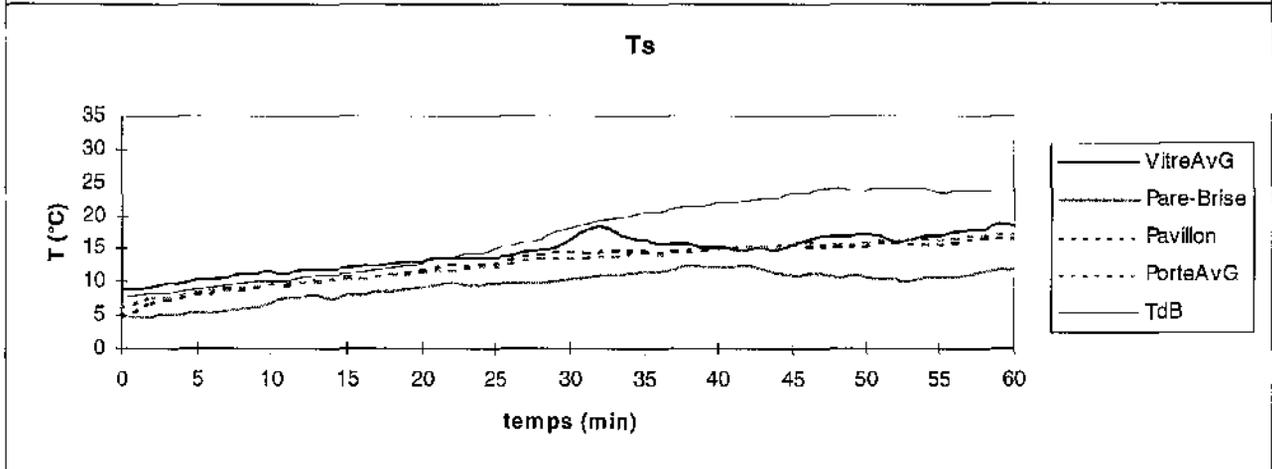
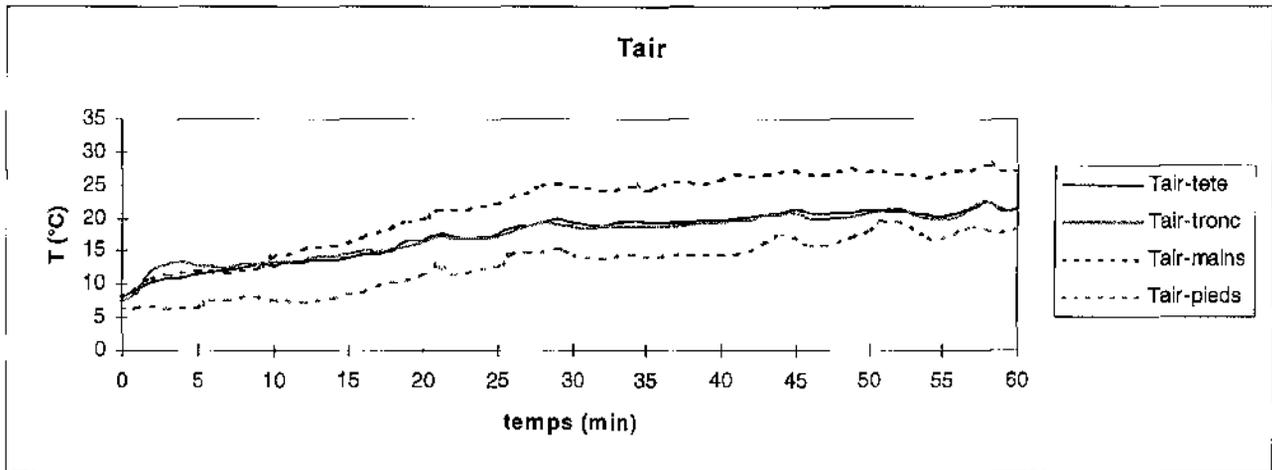
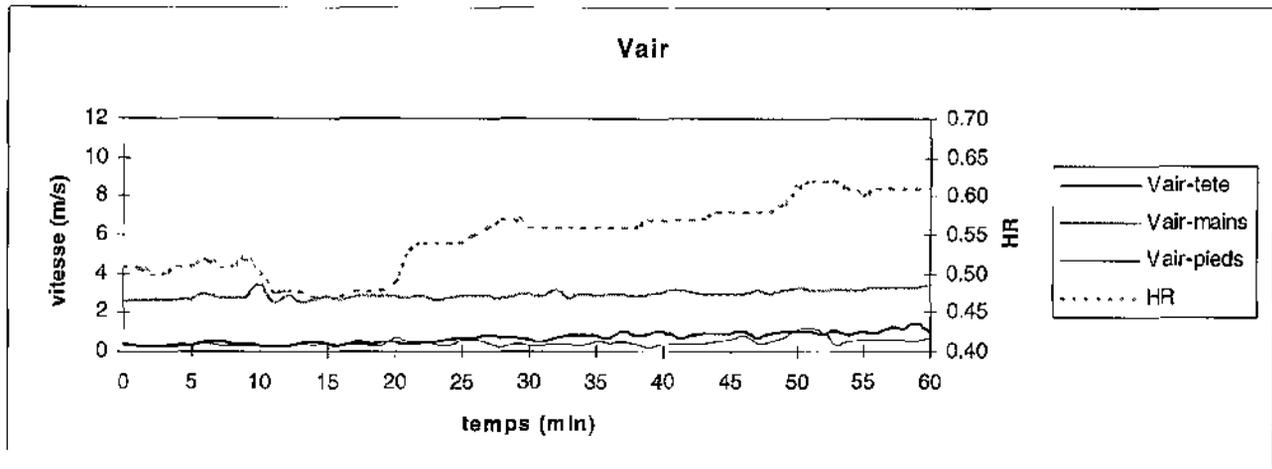
Essai n°9



Essai n°10

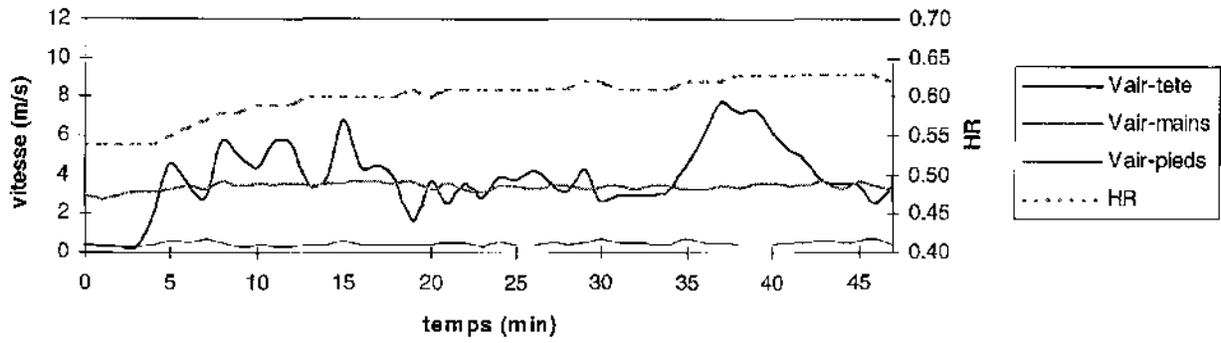


Essai n°11

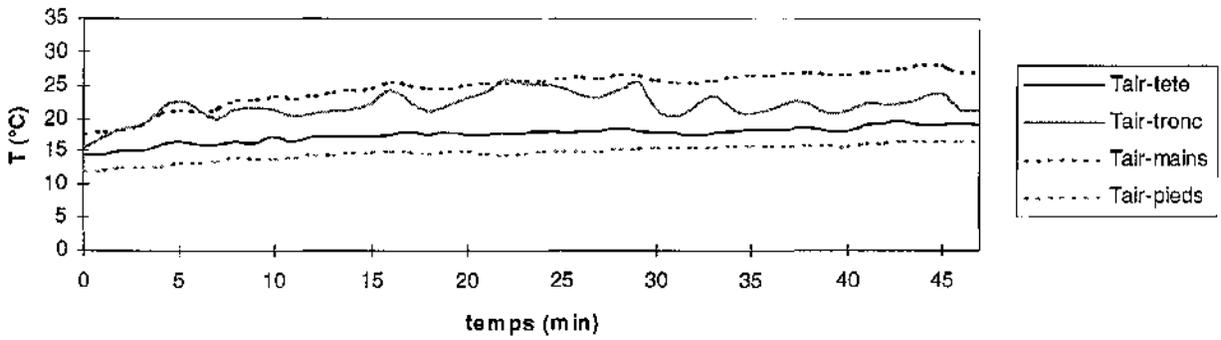


Essai n°12

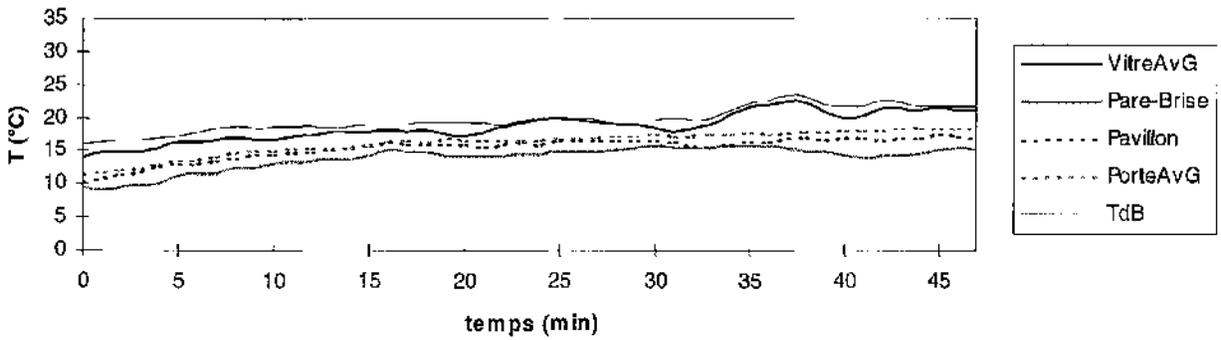
Vair



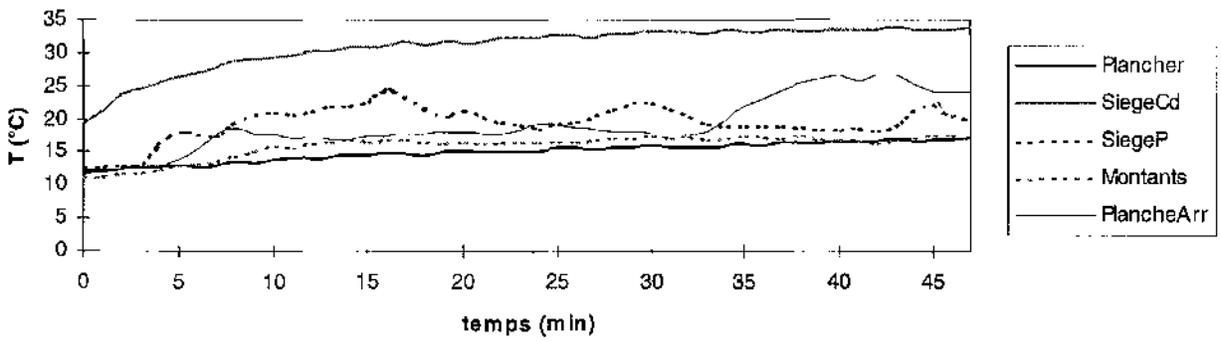
Tair



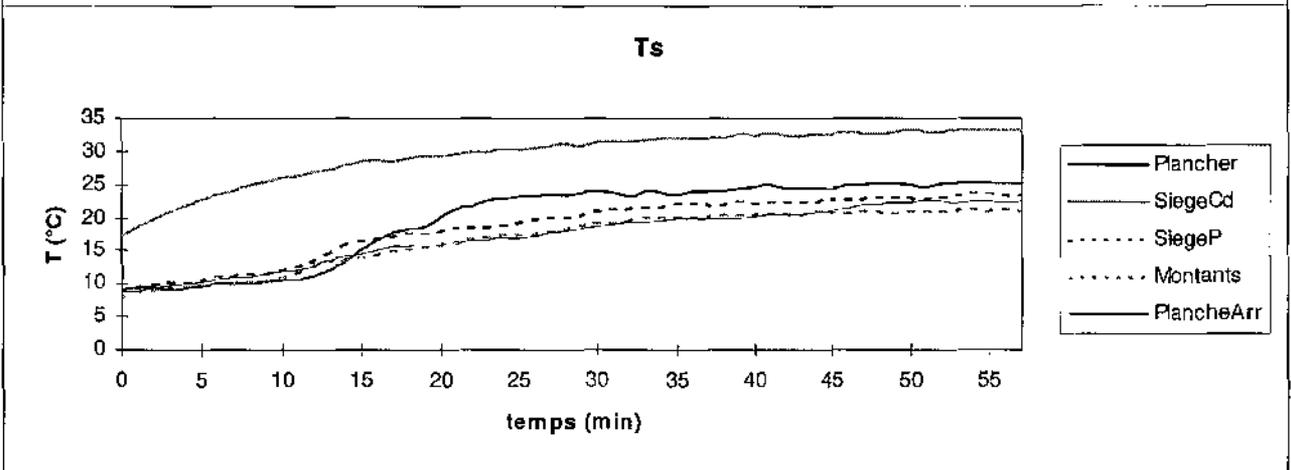
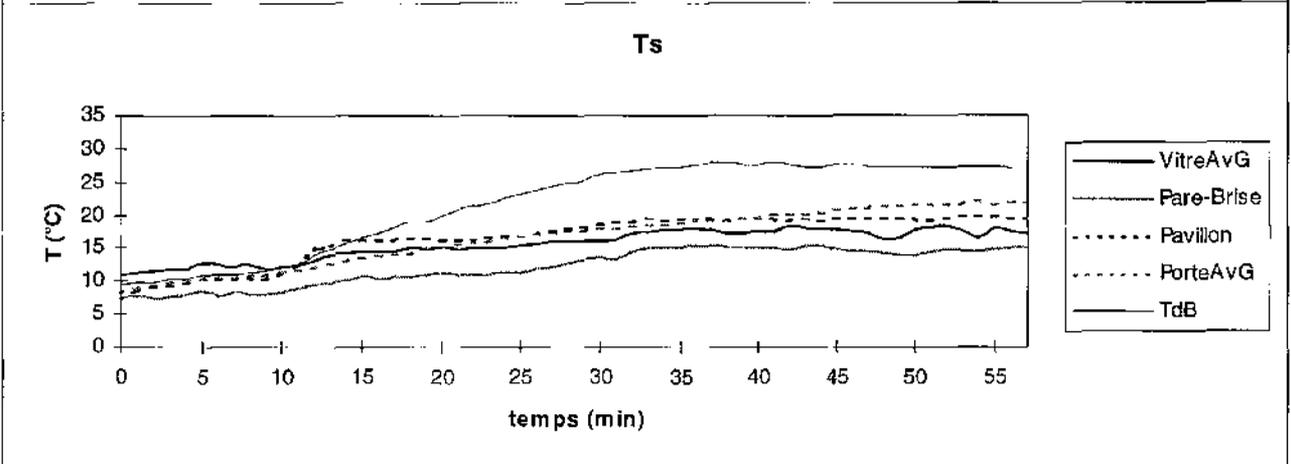
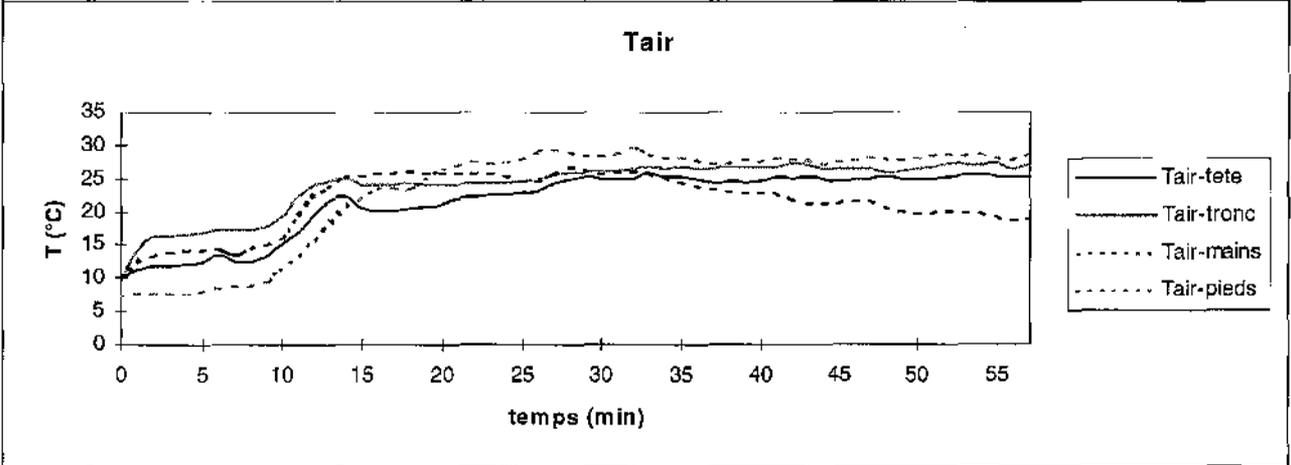
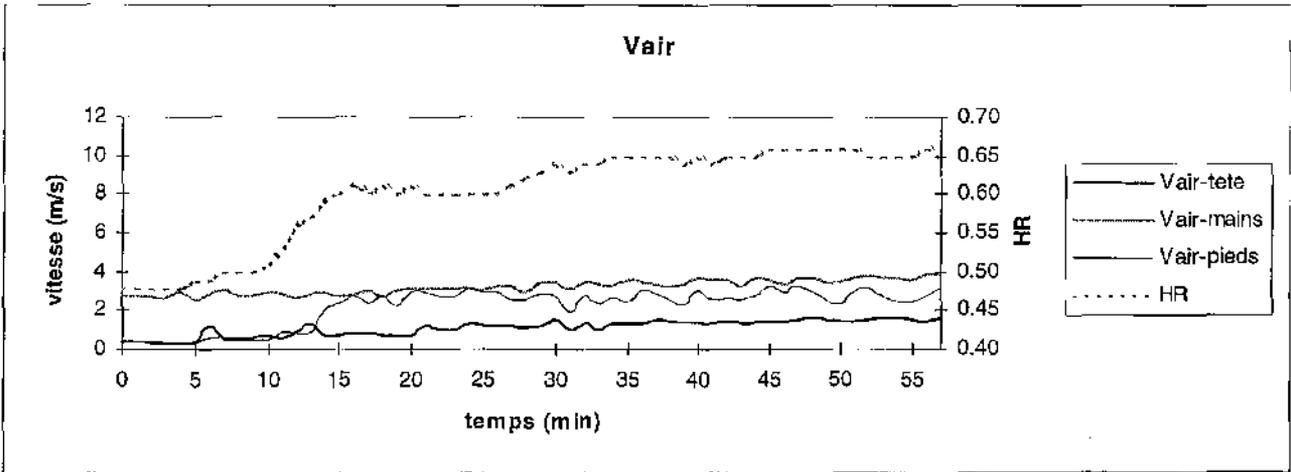
Ts



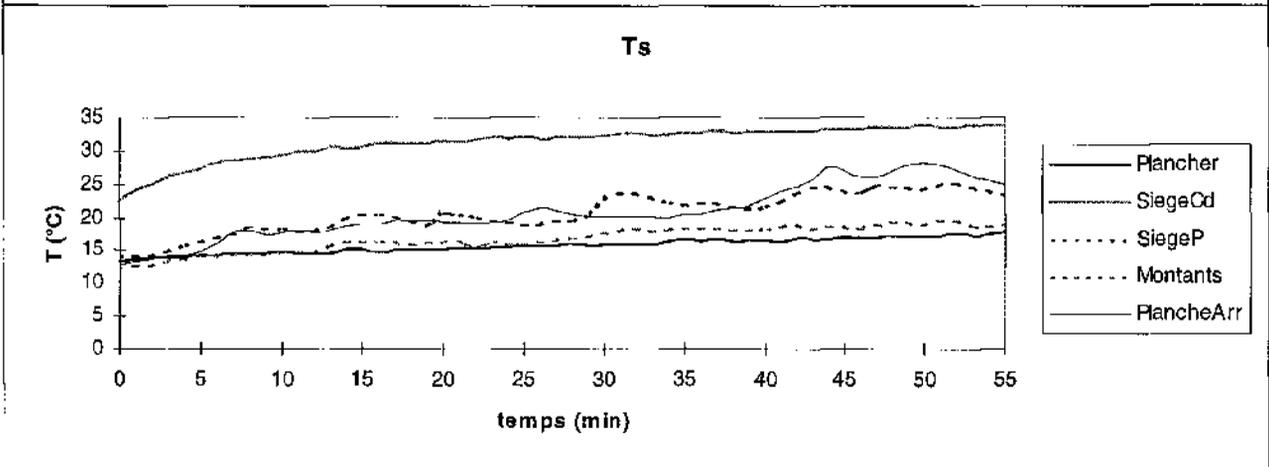
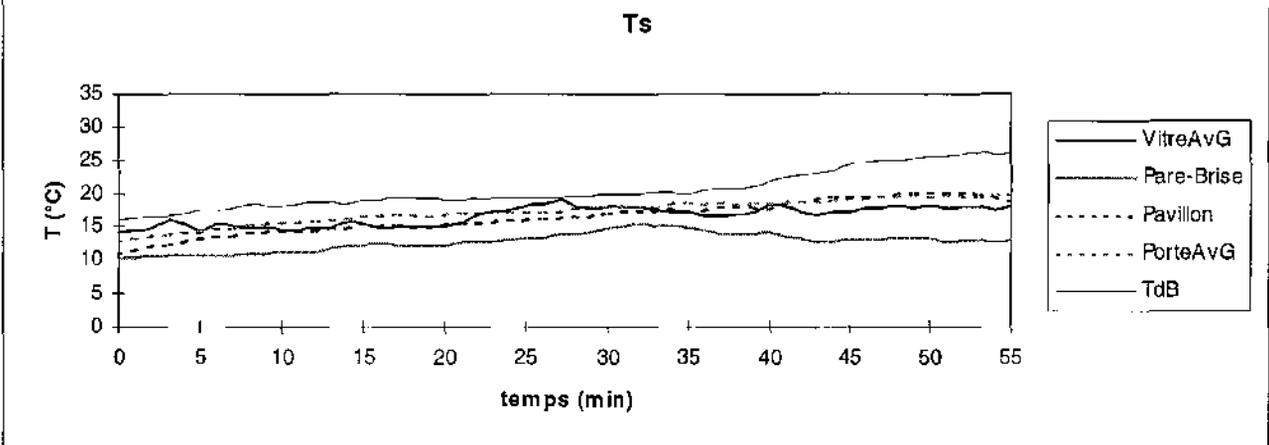
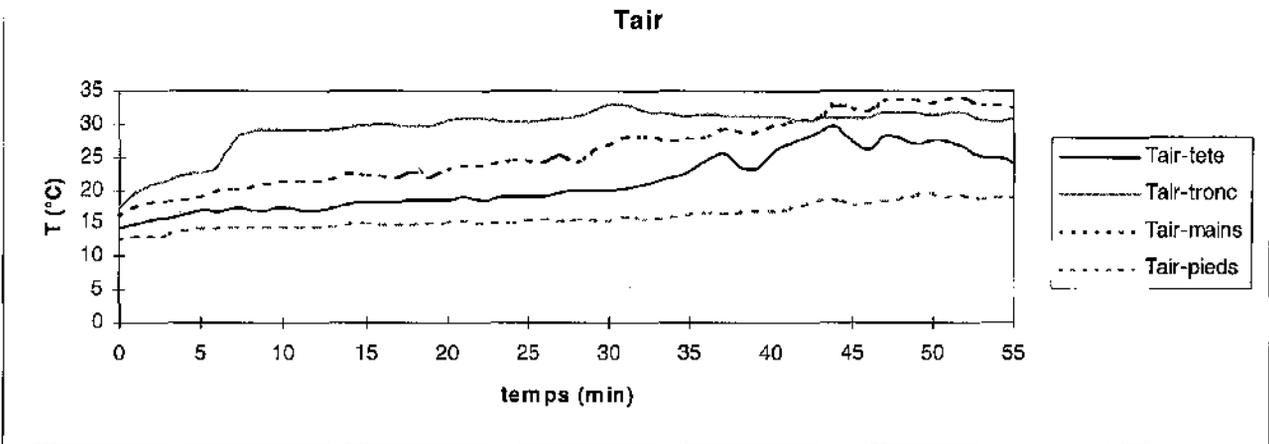
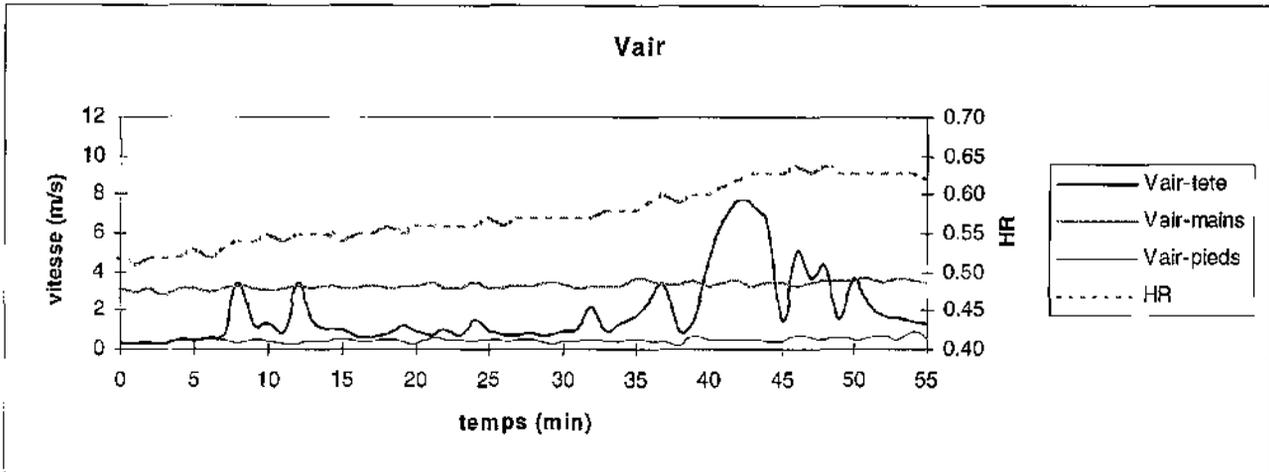
Ts



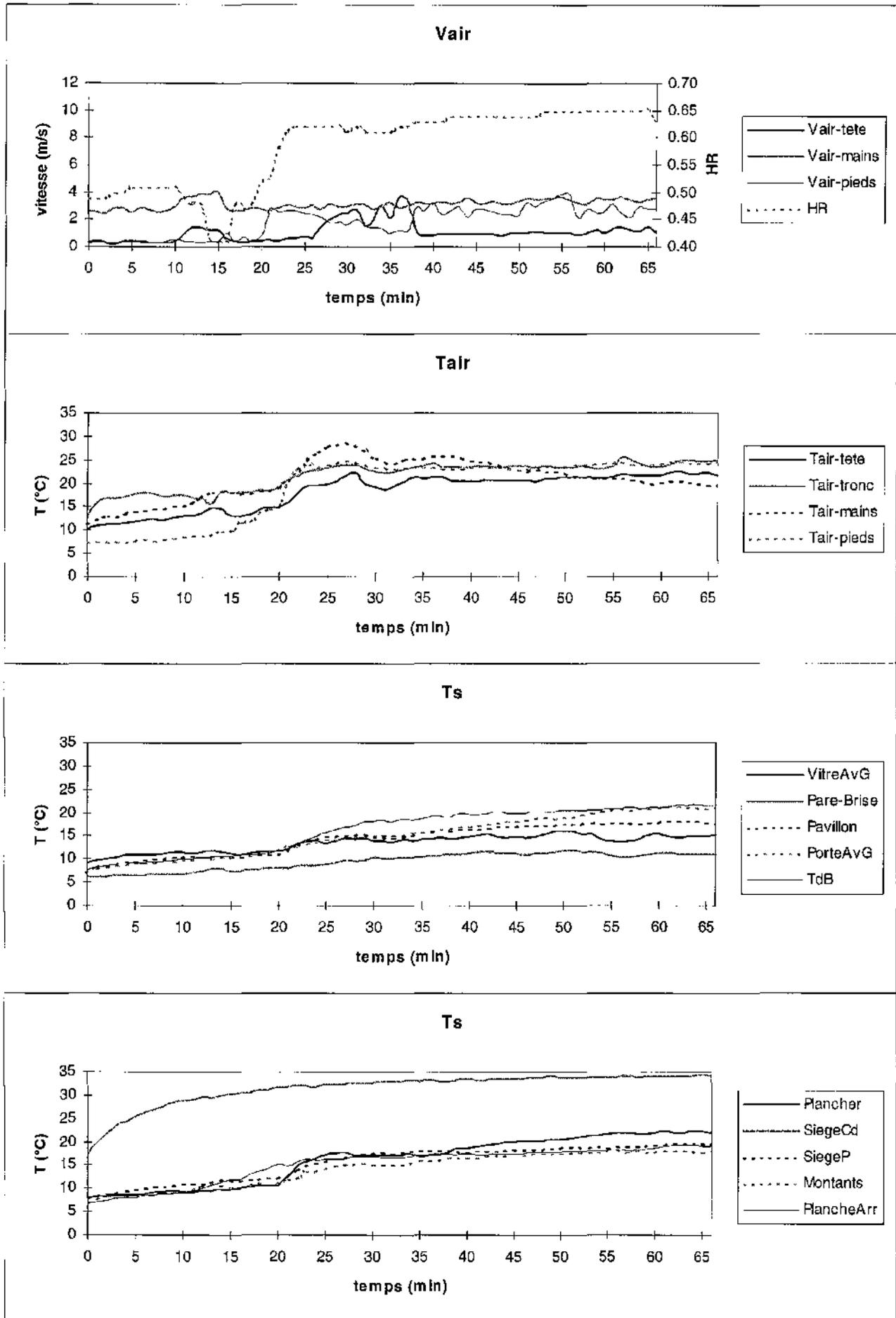
Essai n°13



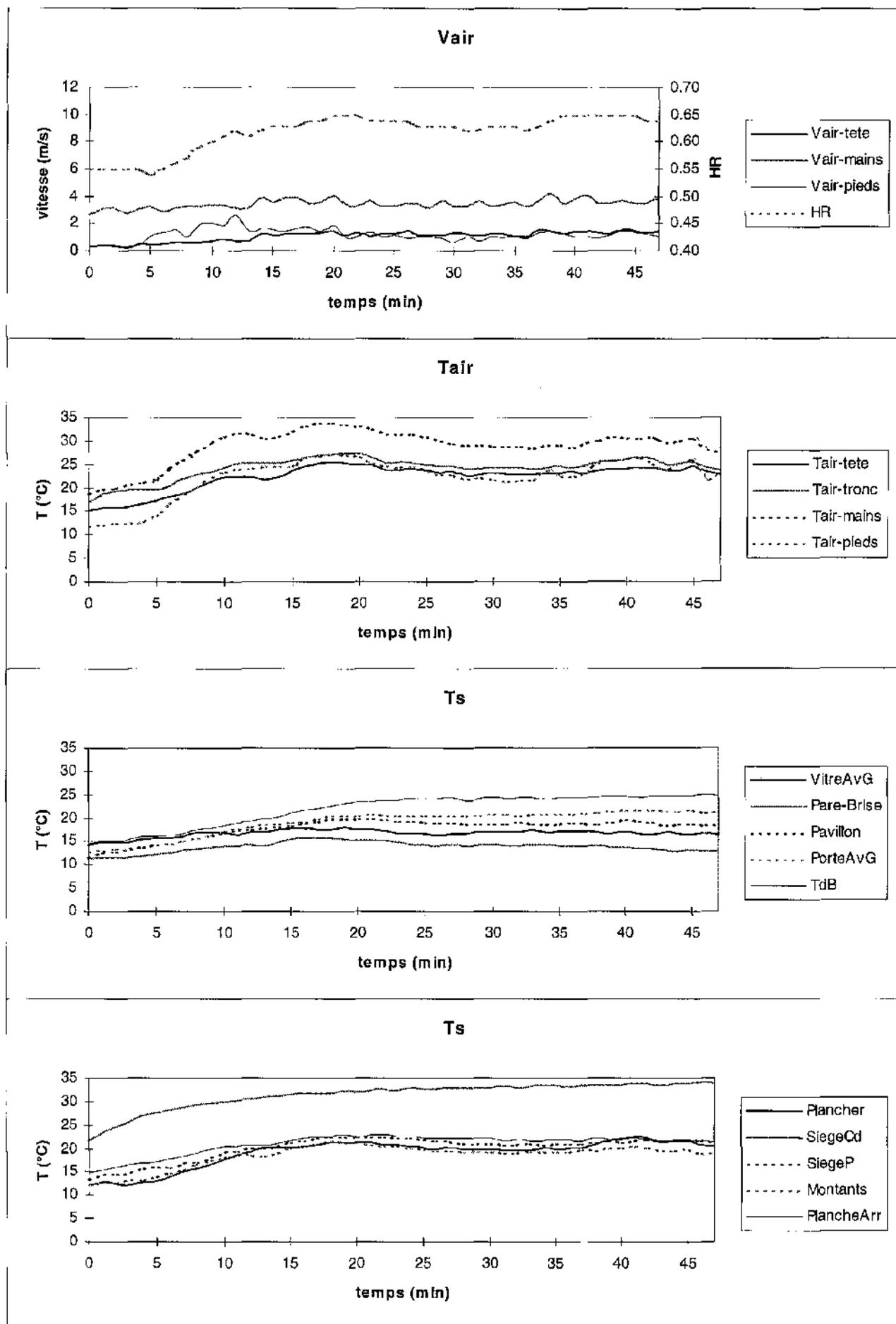
Essai n°14



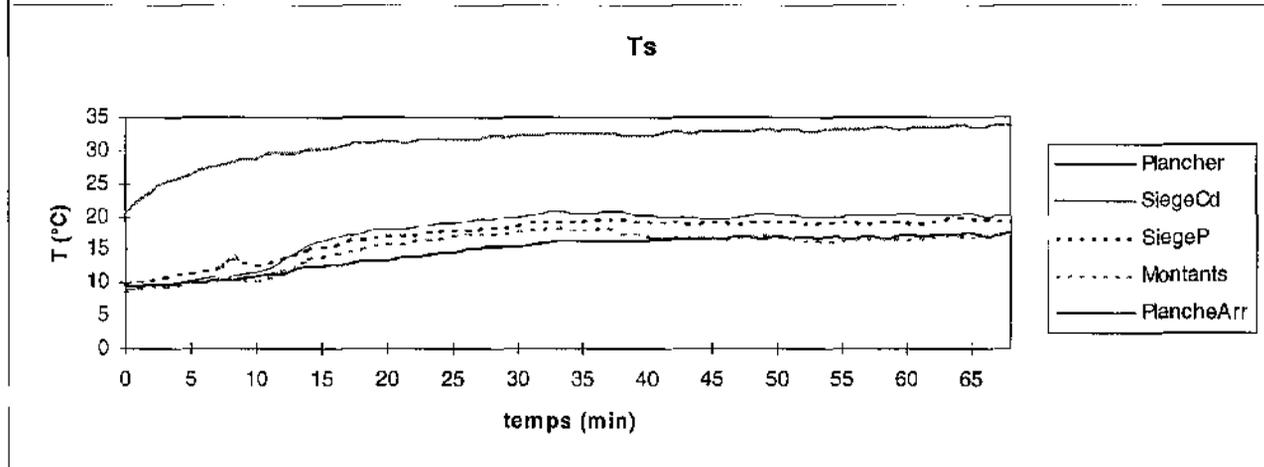
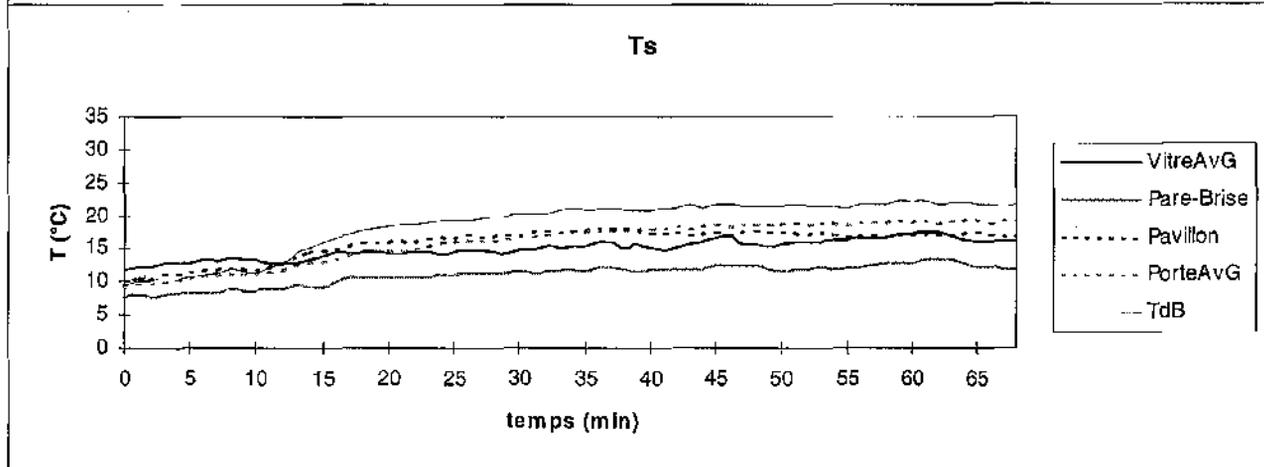
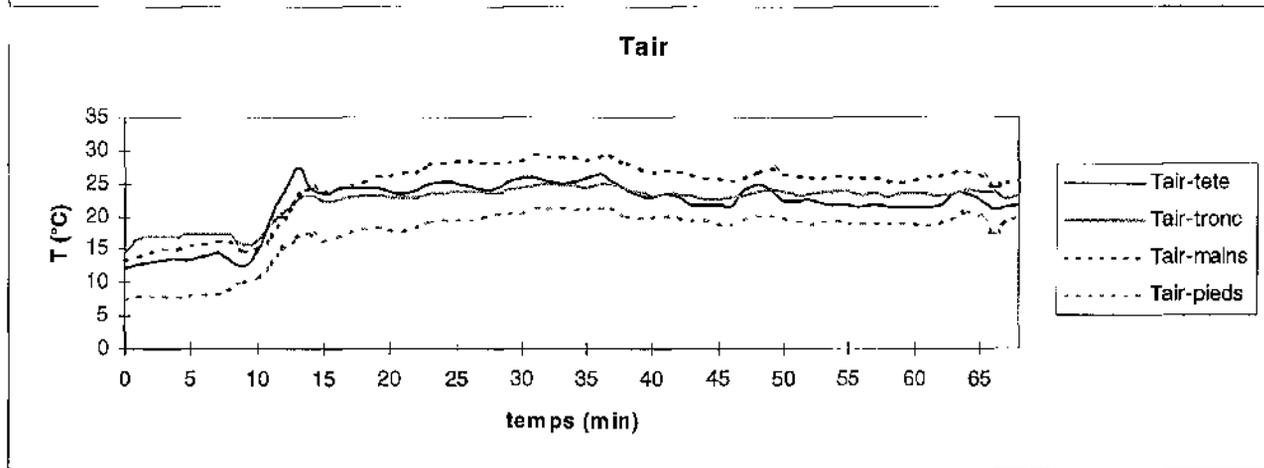
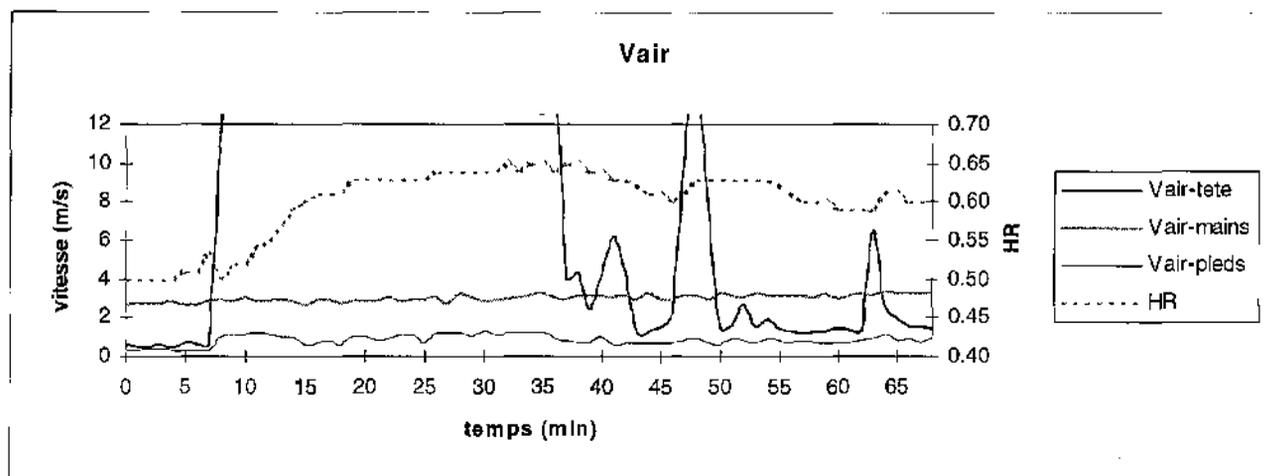
Essai n°15



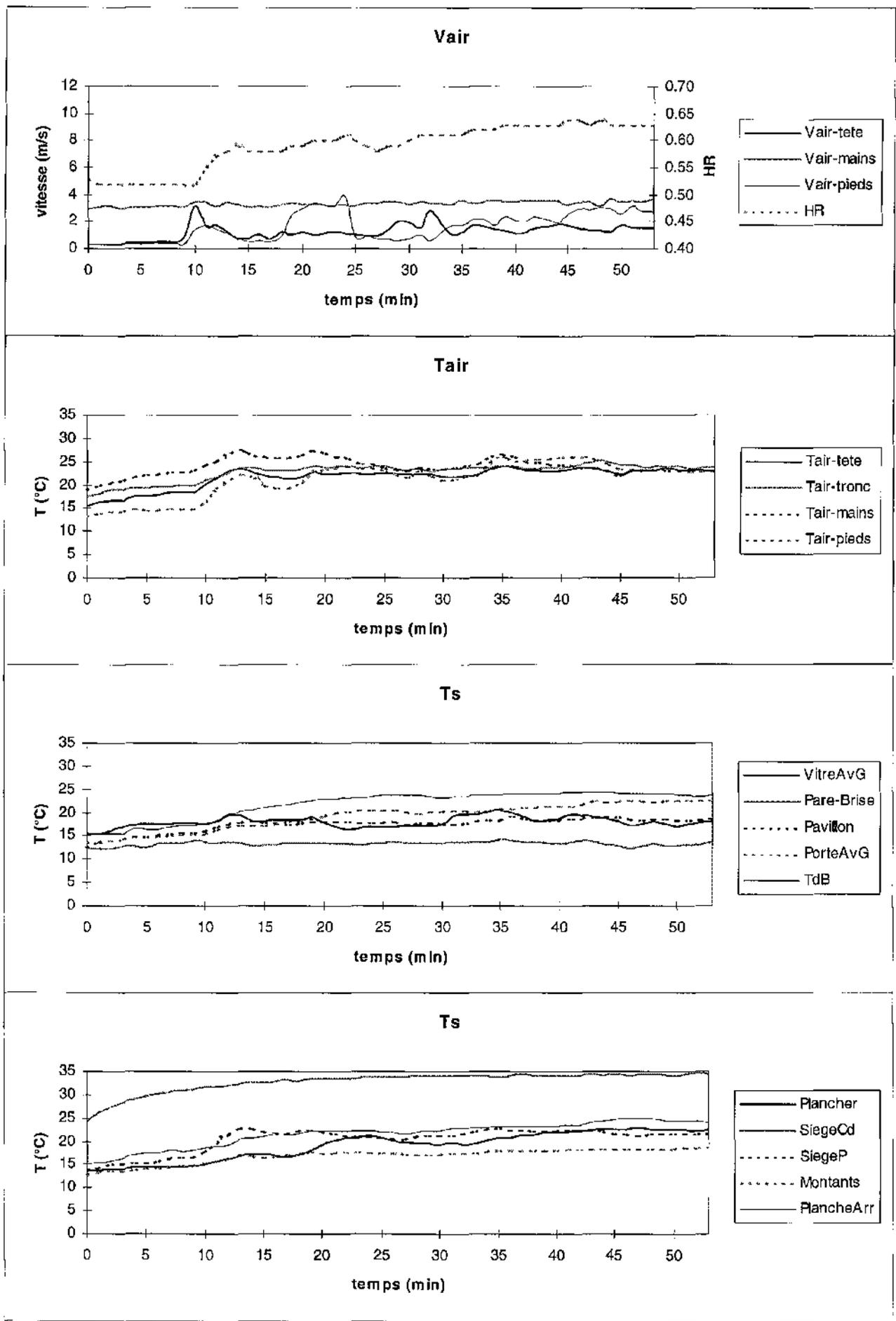
Essai n°16



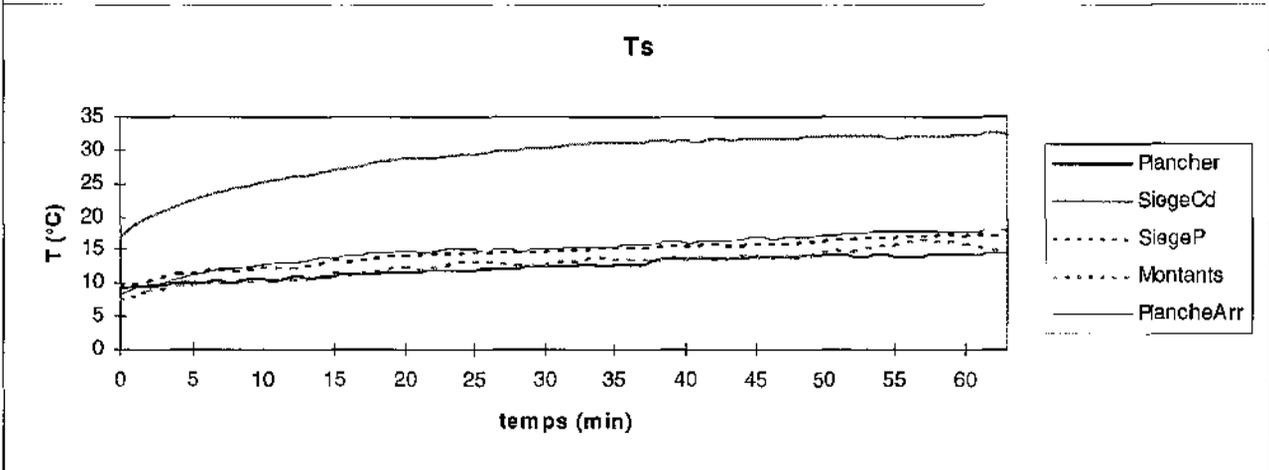
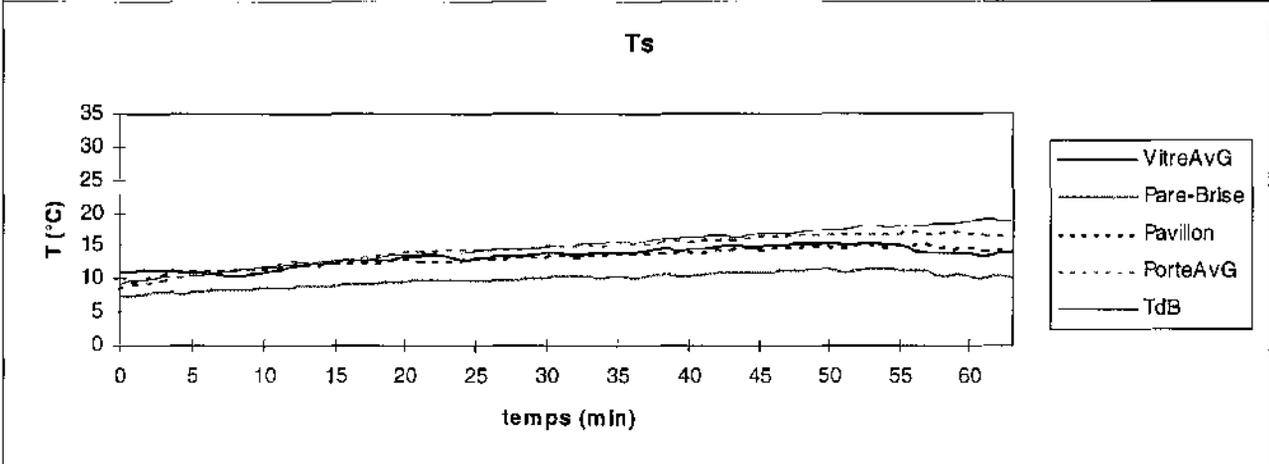
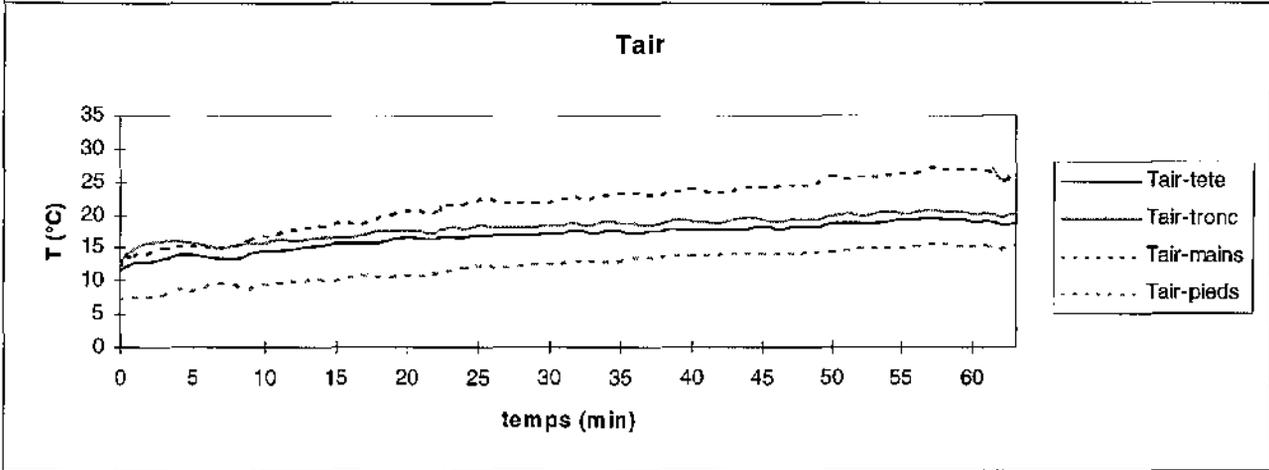
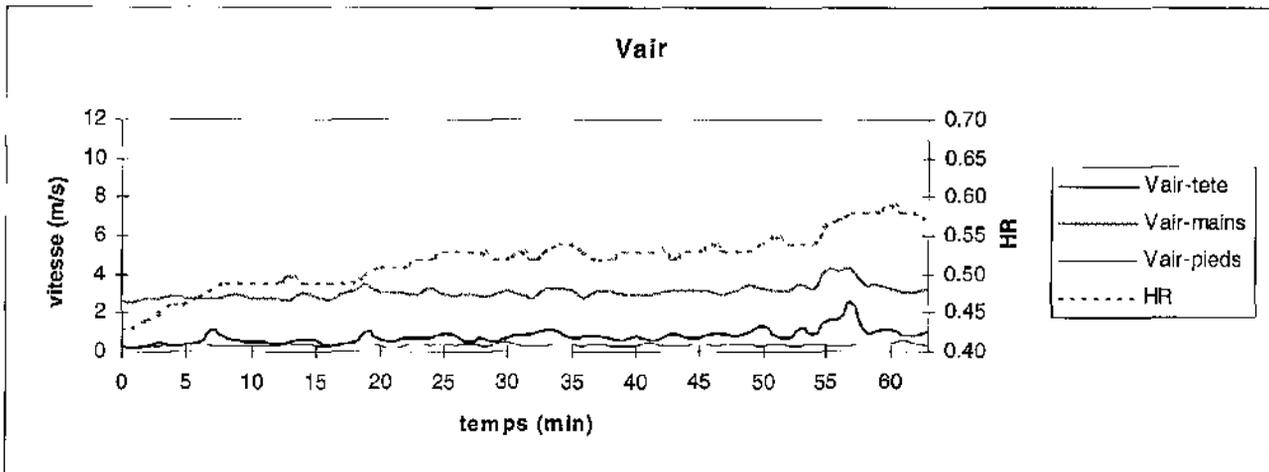
Essai n°17



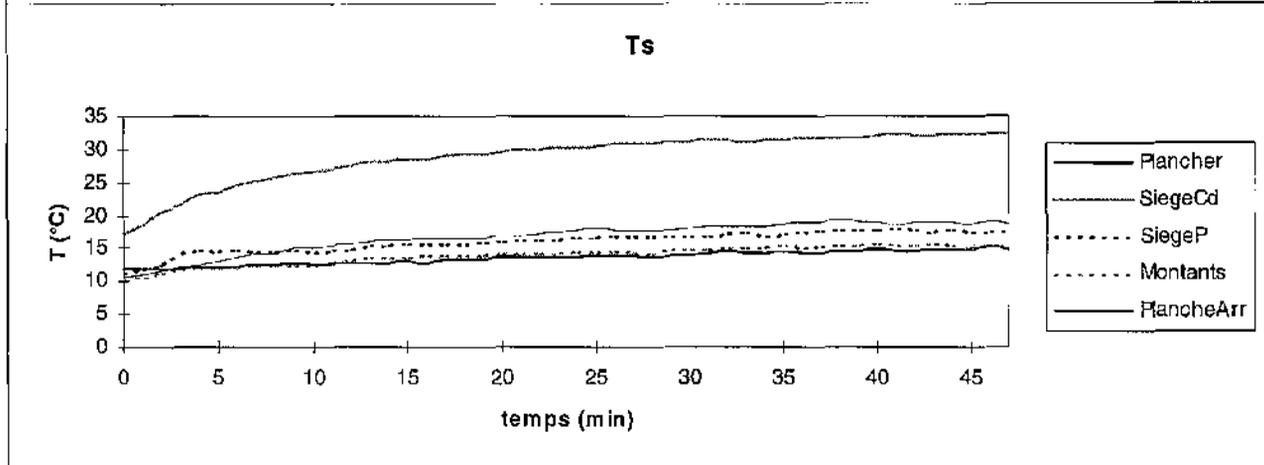
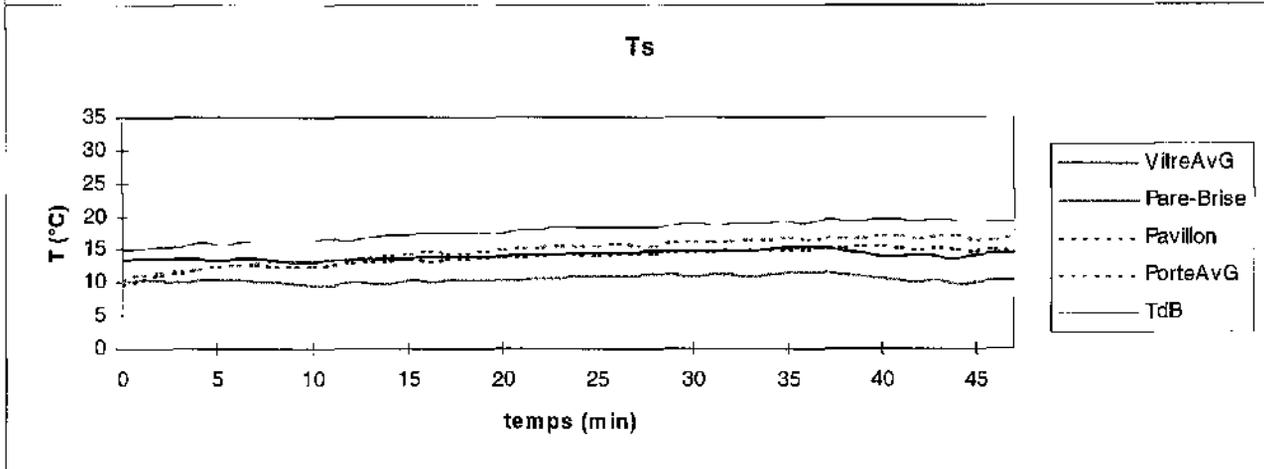
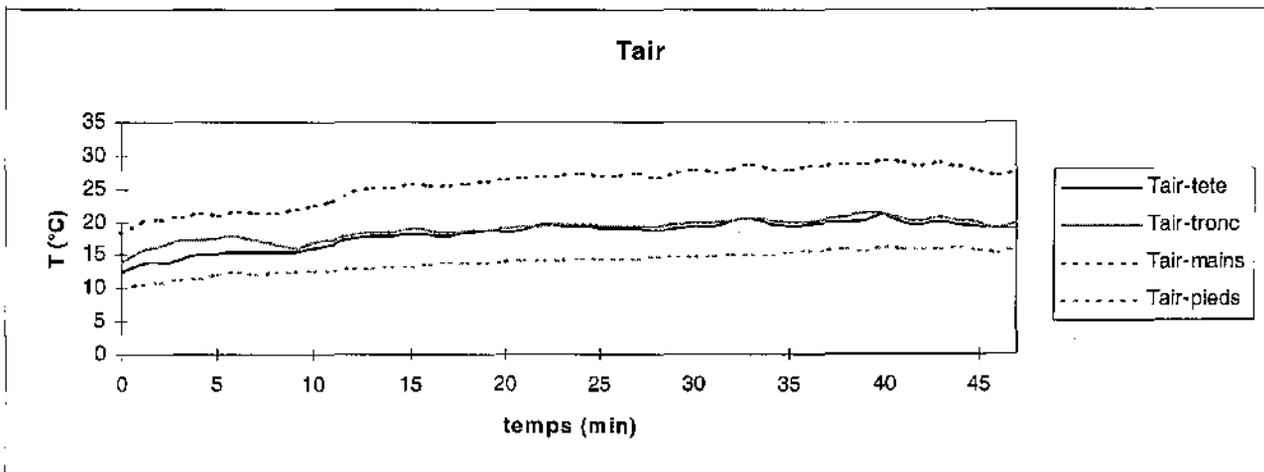
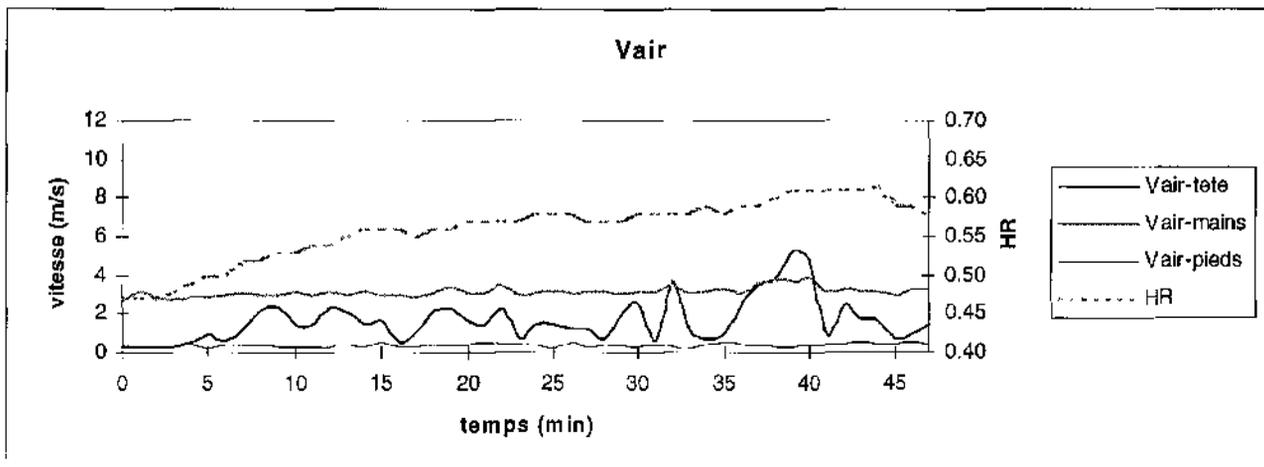
Essai n°18



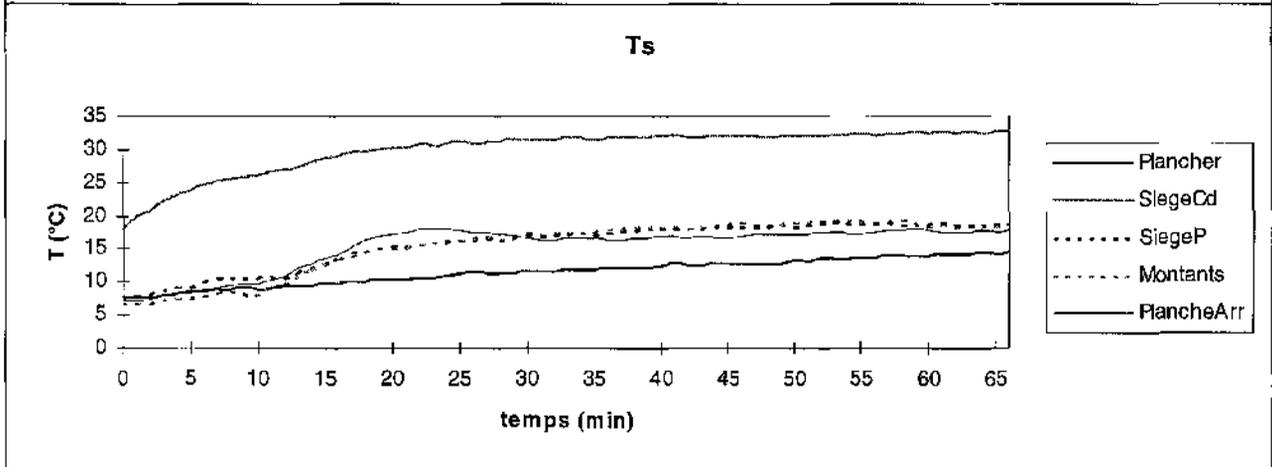
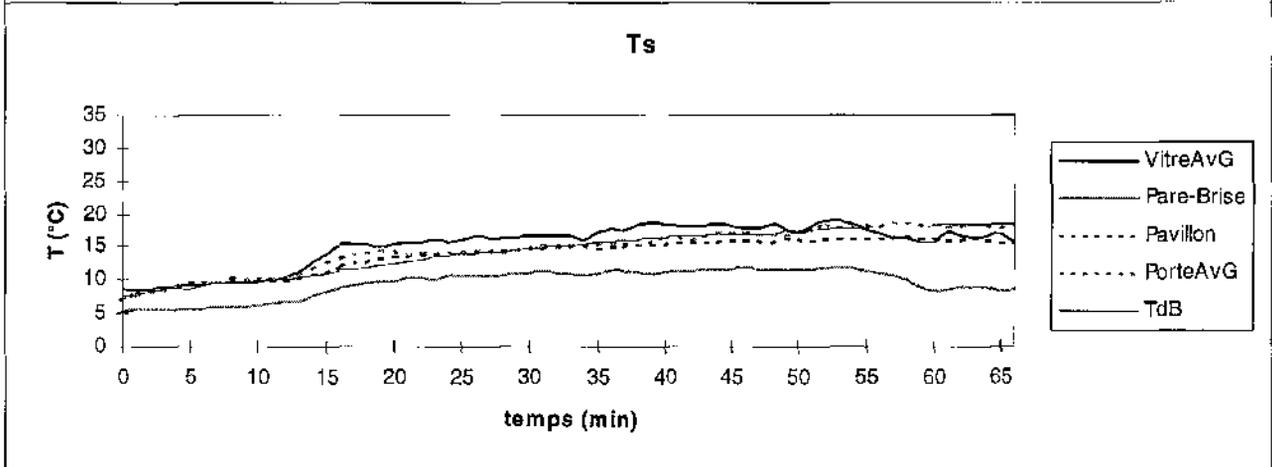
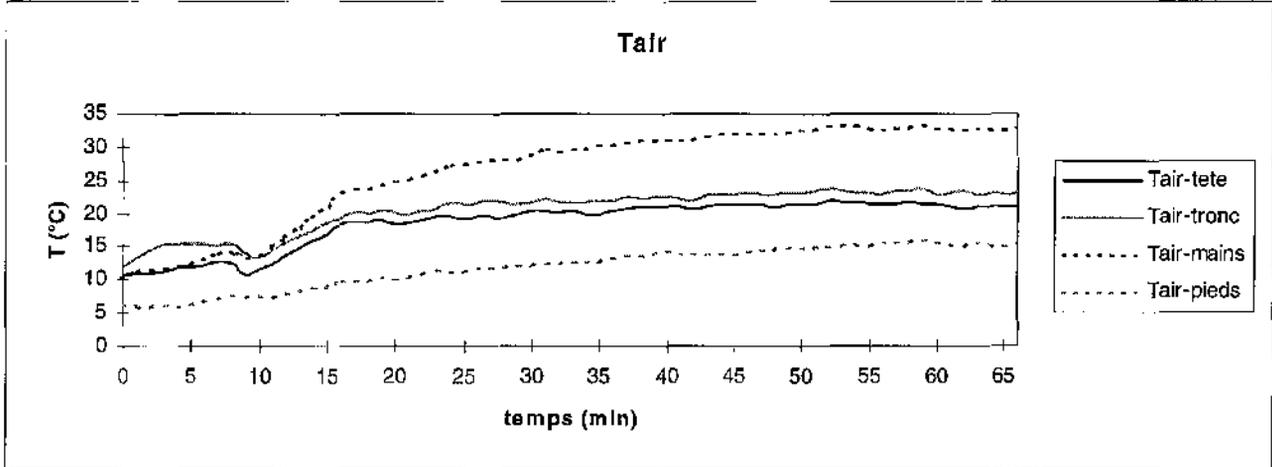
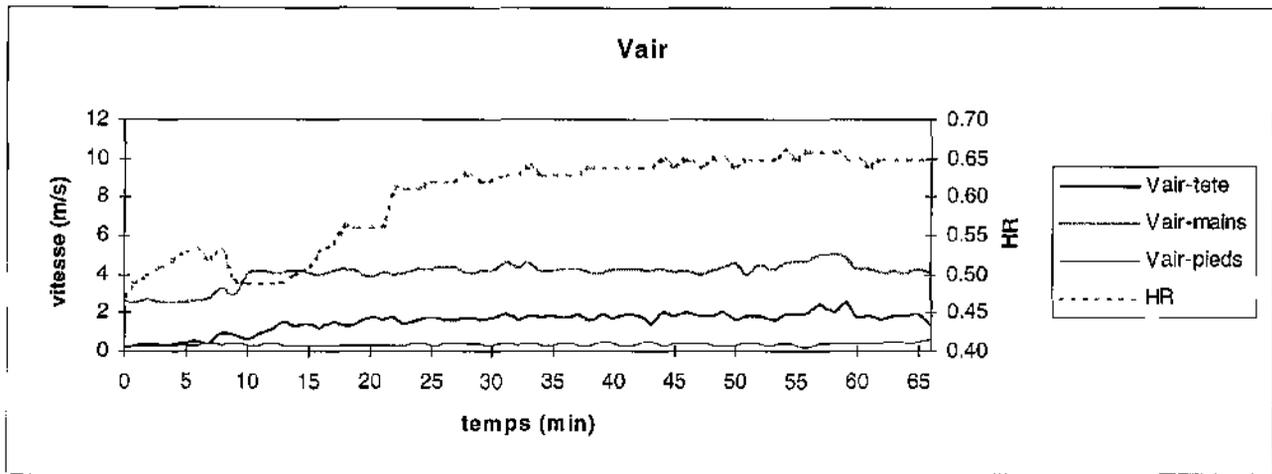
Essai n°19



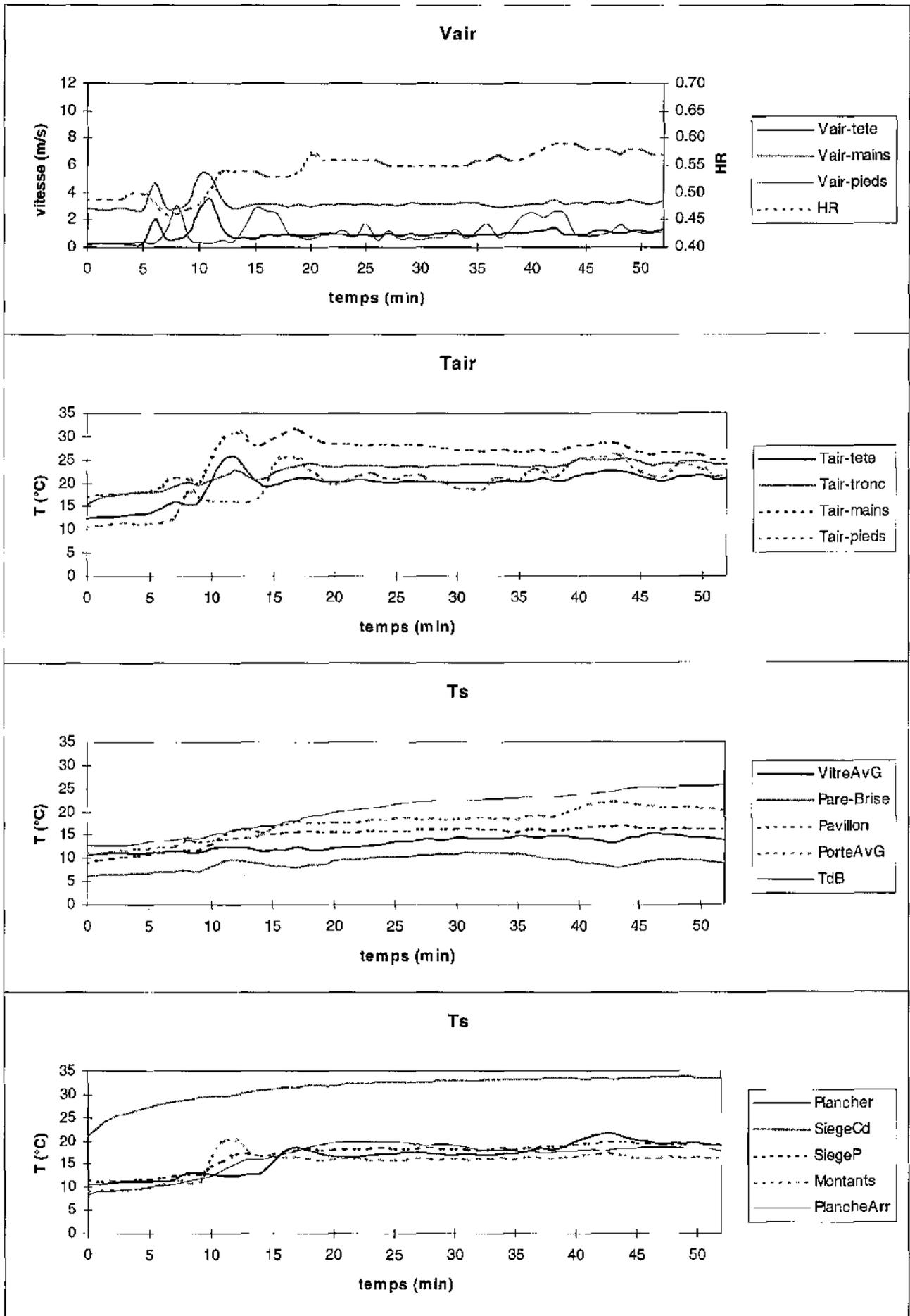
Essai n°20



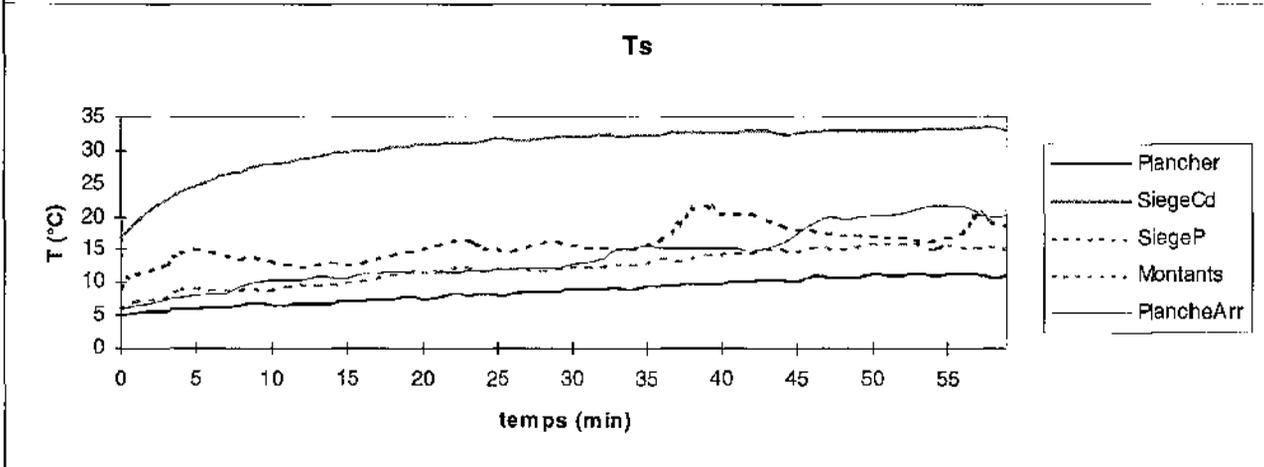
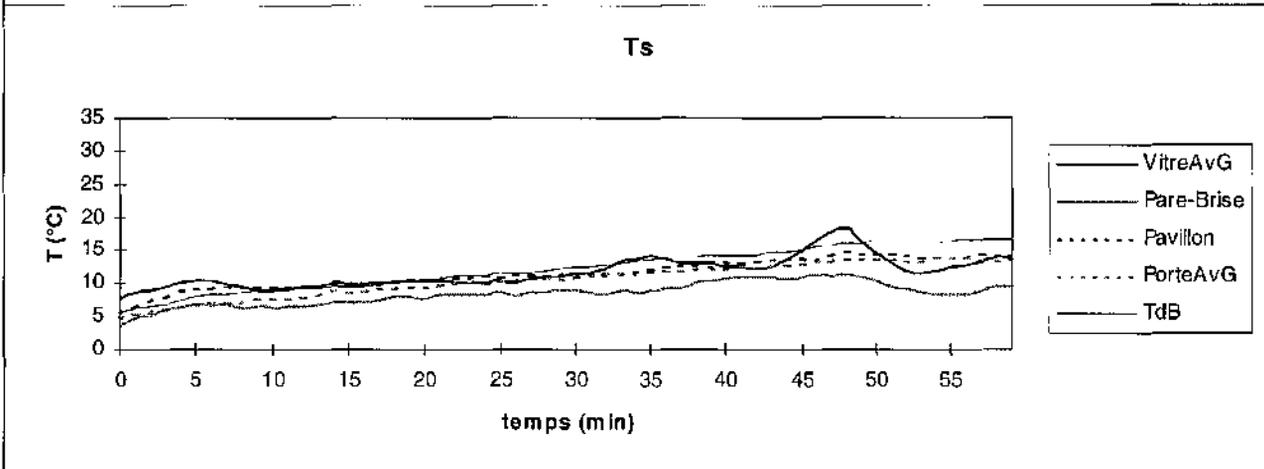
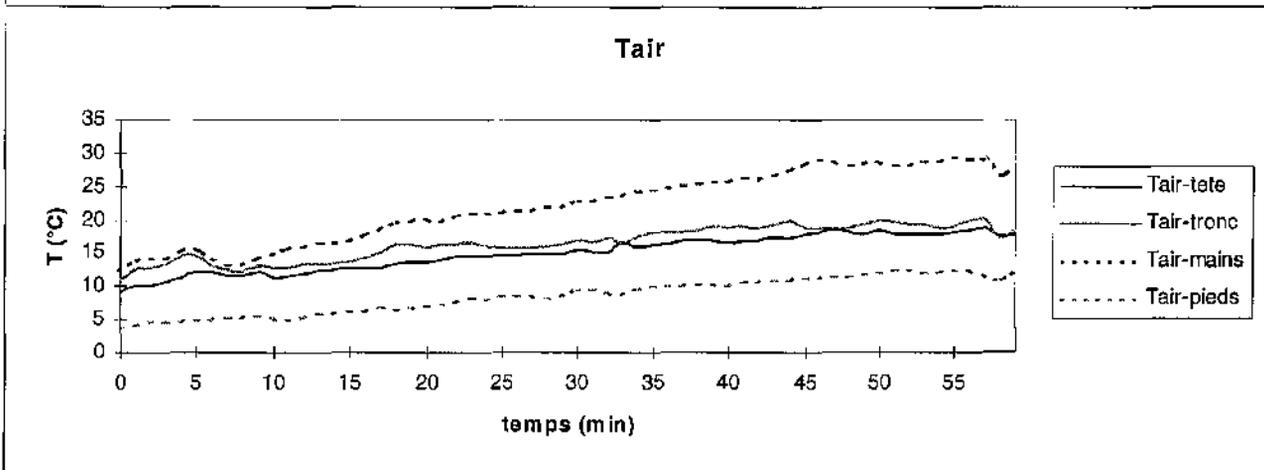
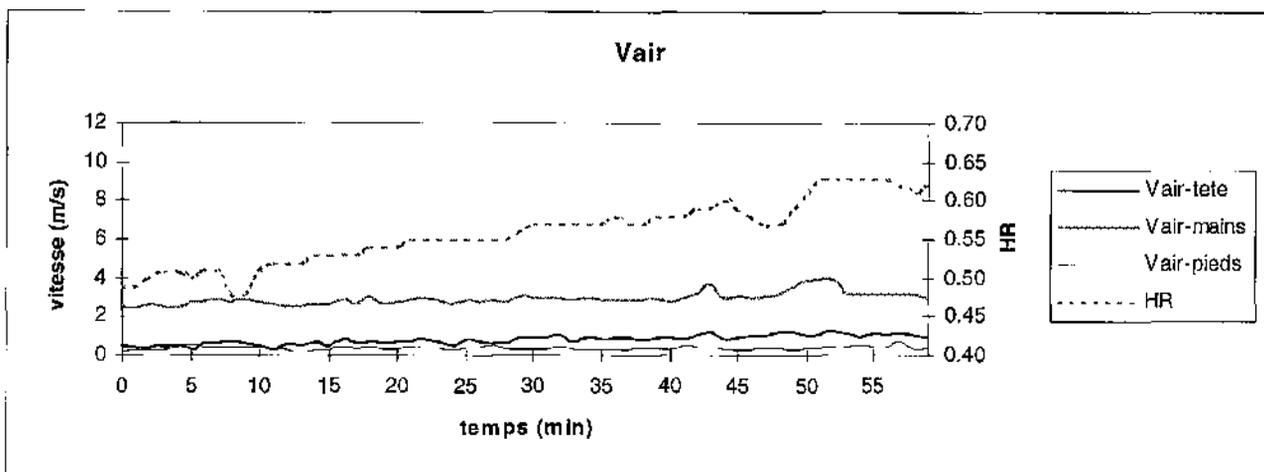
Essai n°21



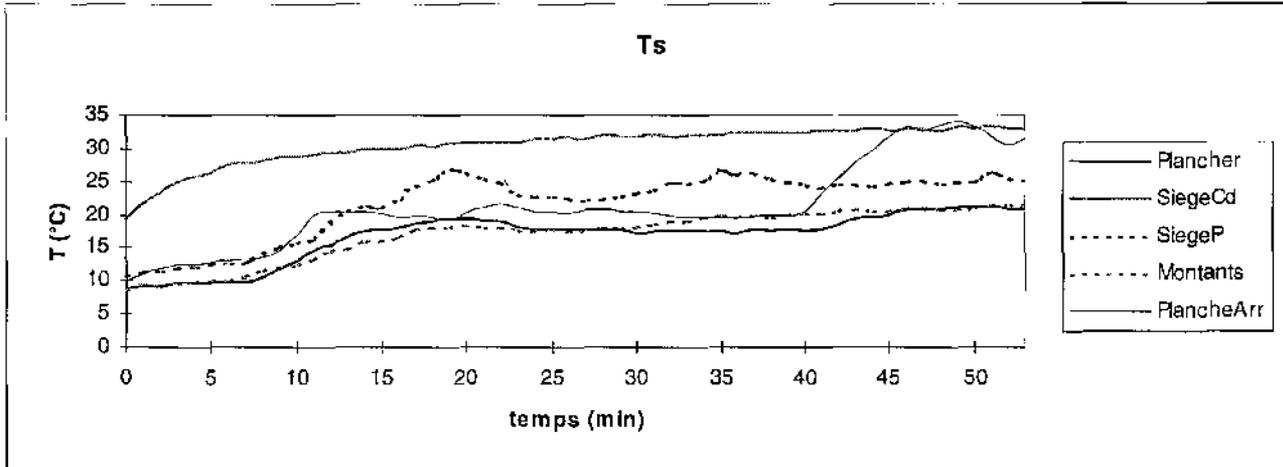
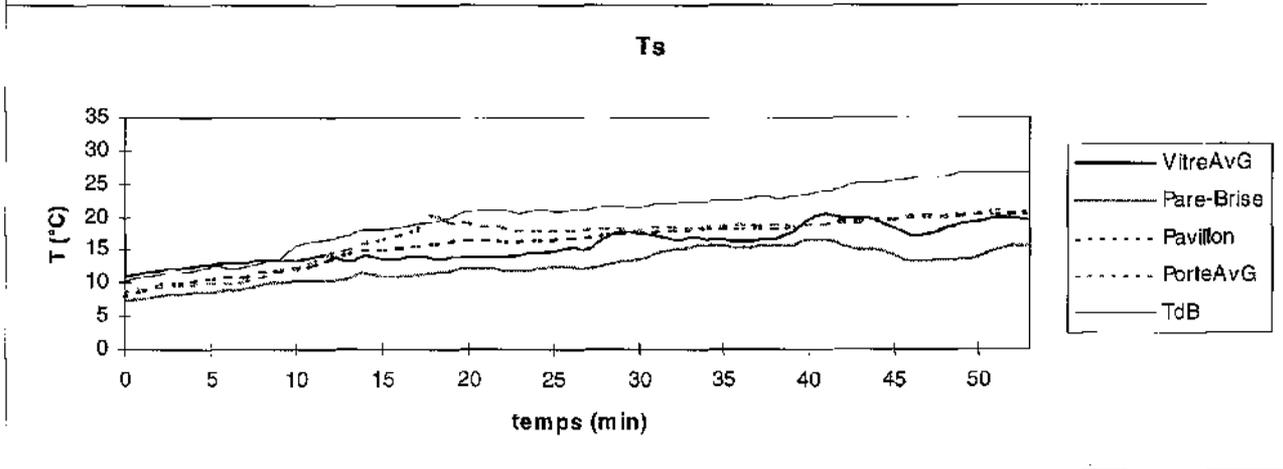
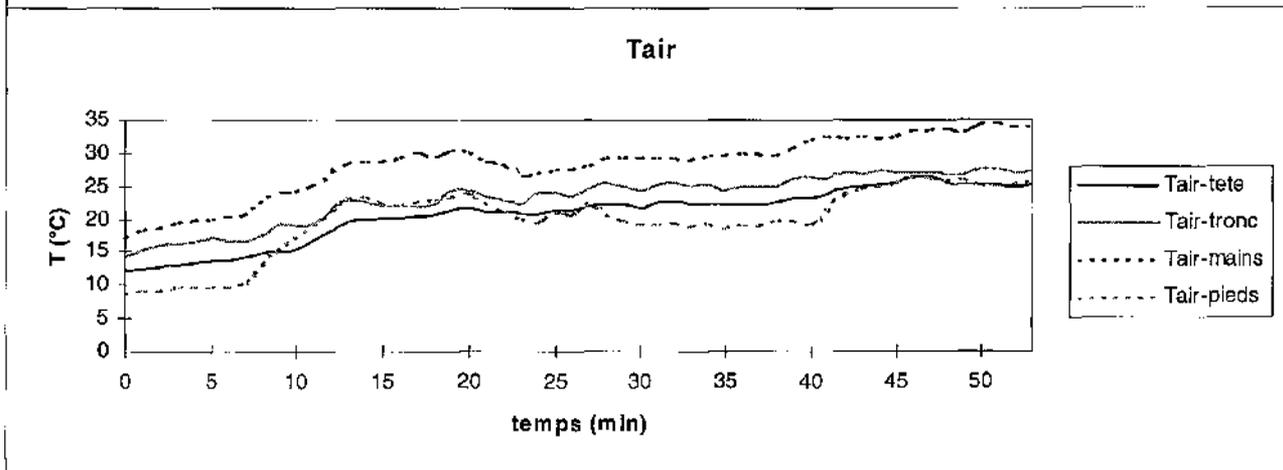
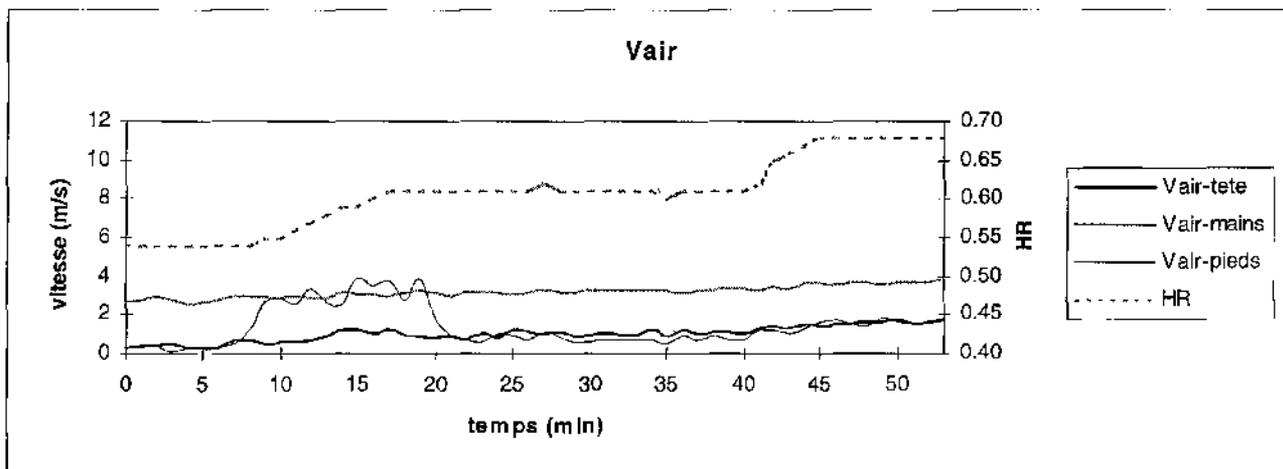
Essai n°22



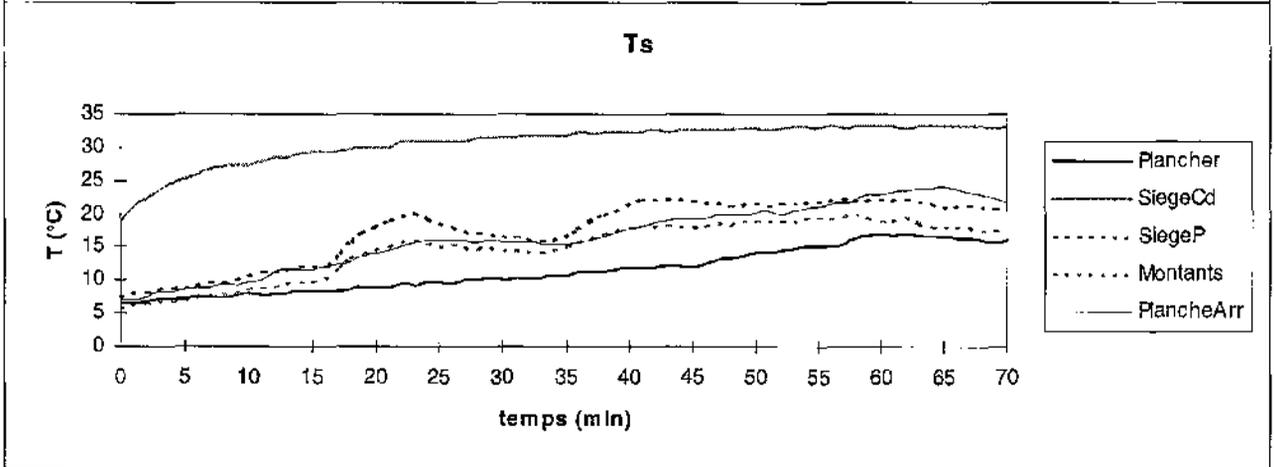
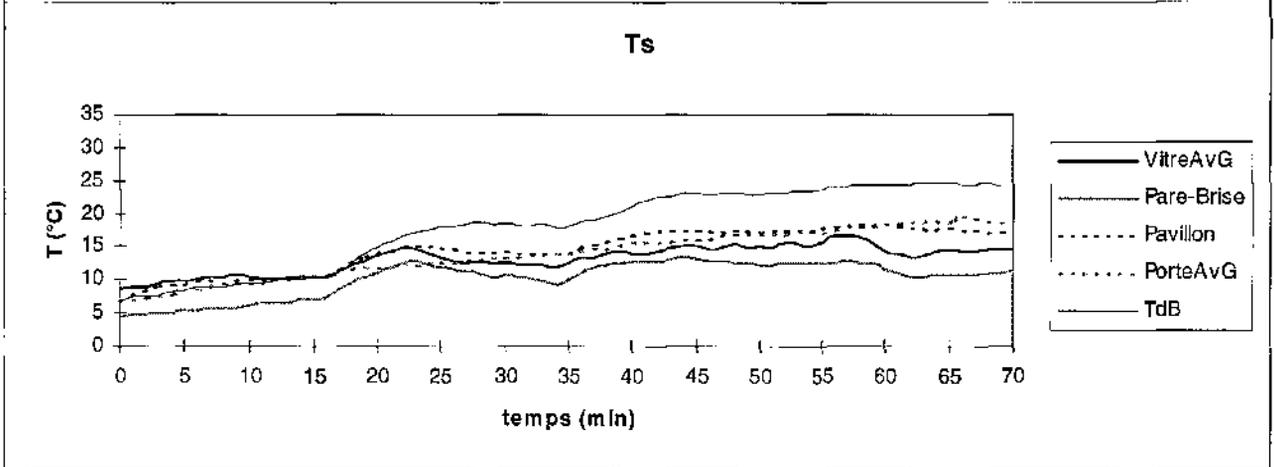
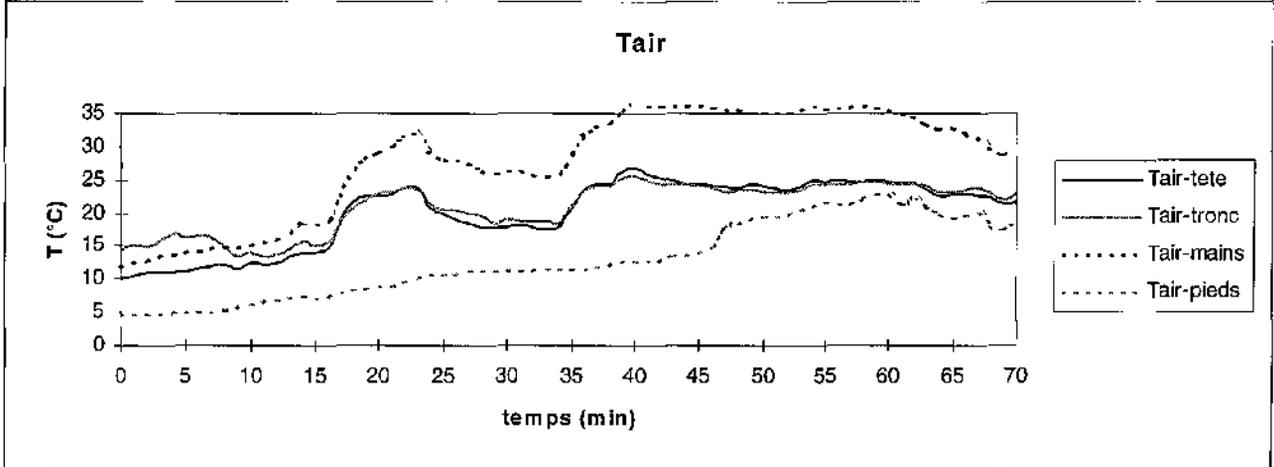
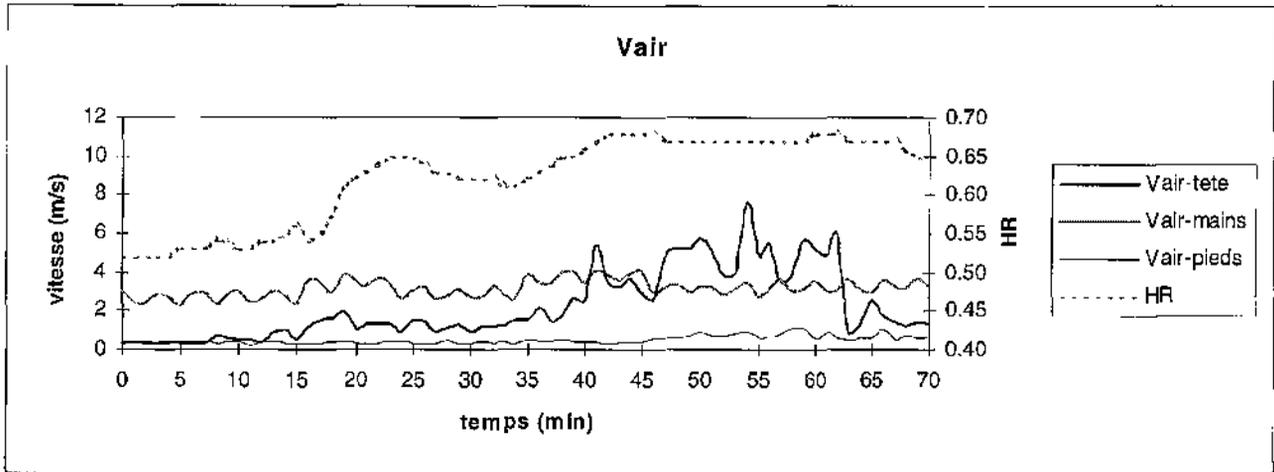
Essai n°23



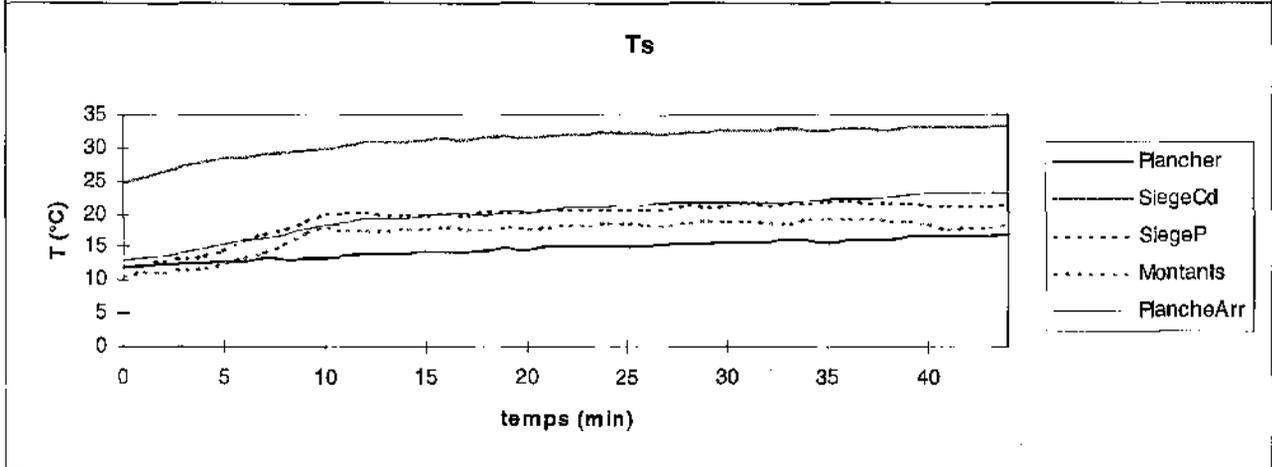
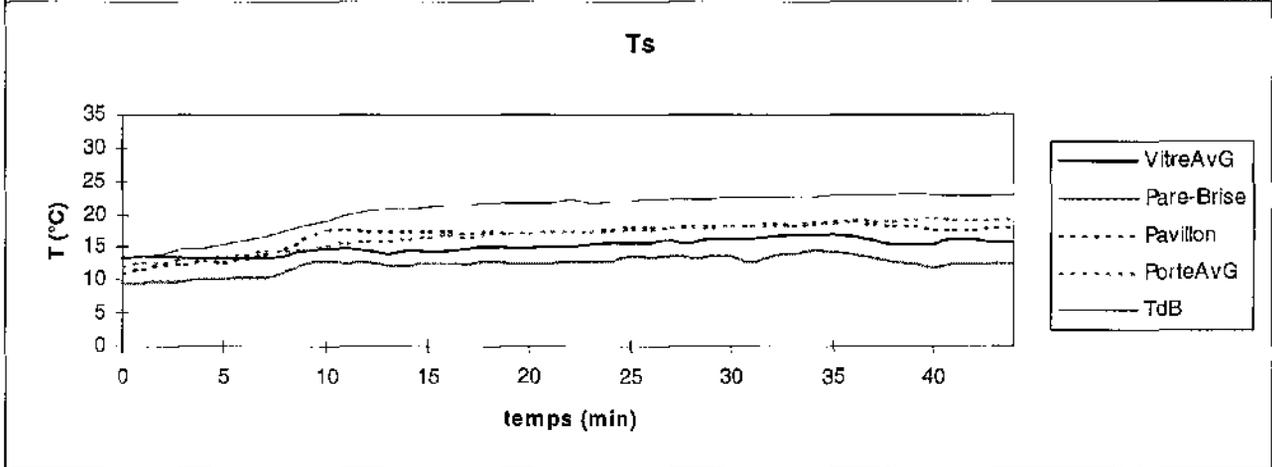
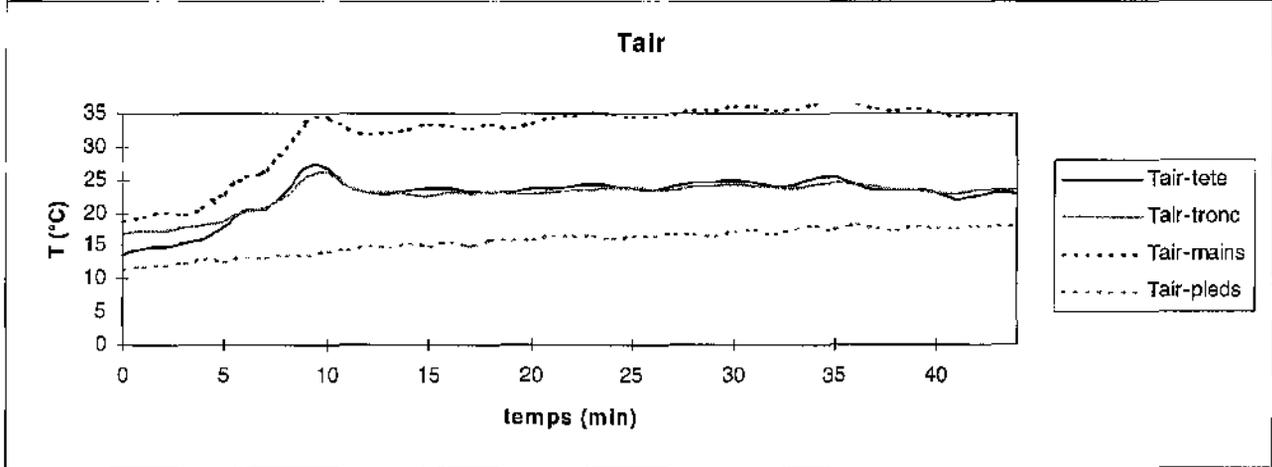
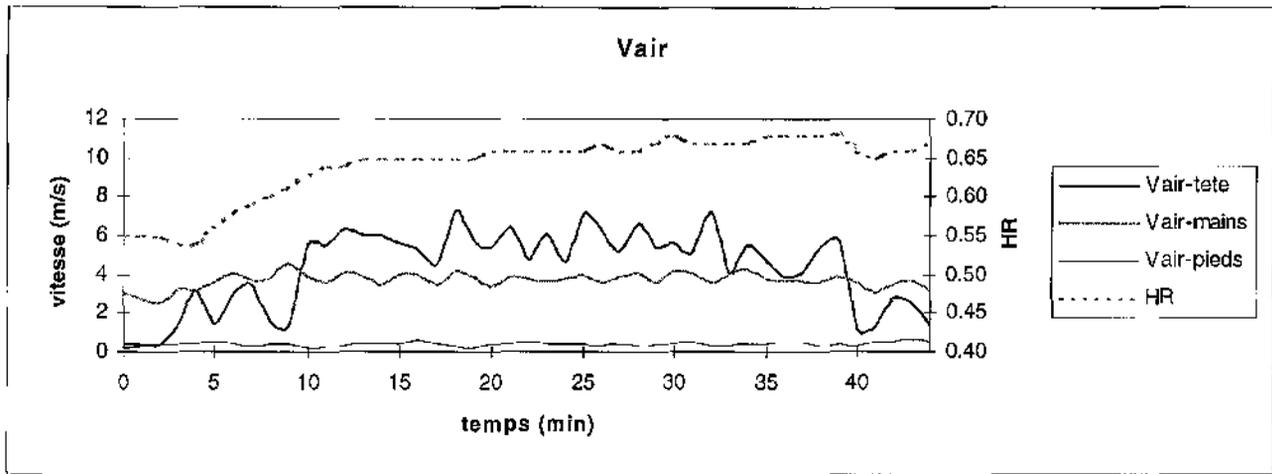
Essai n°24



Essai n°25



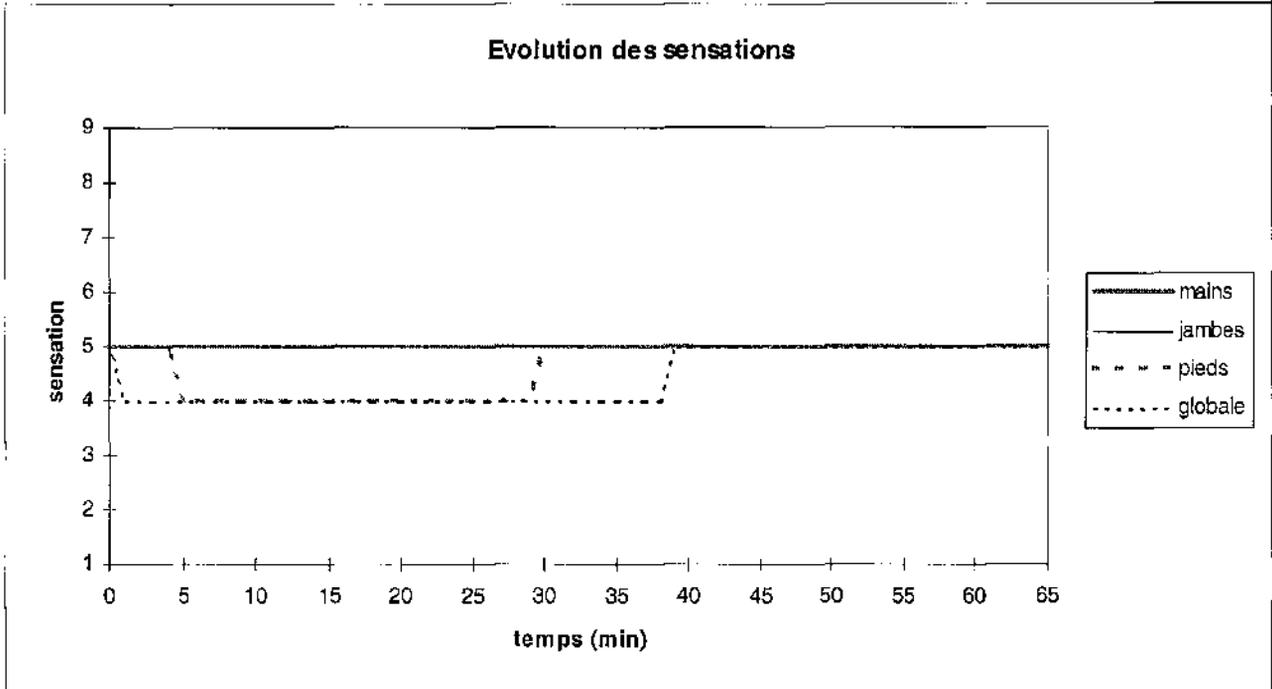
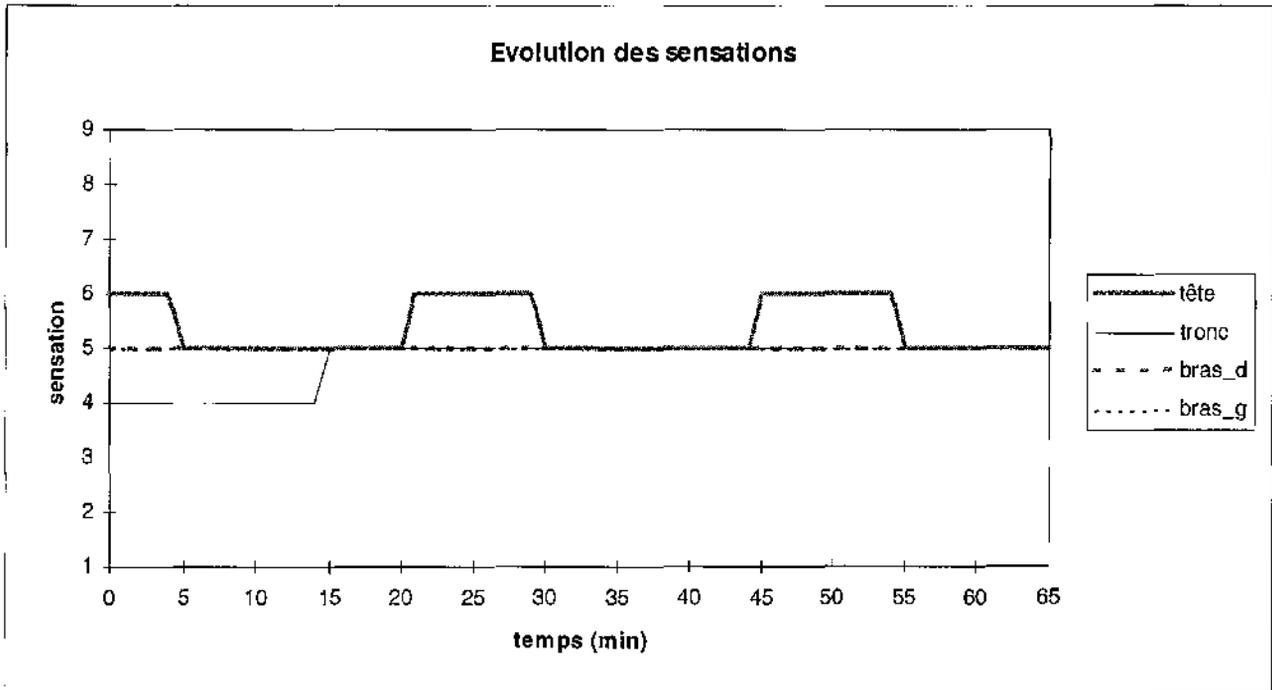
Essai n°26



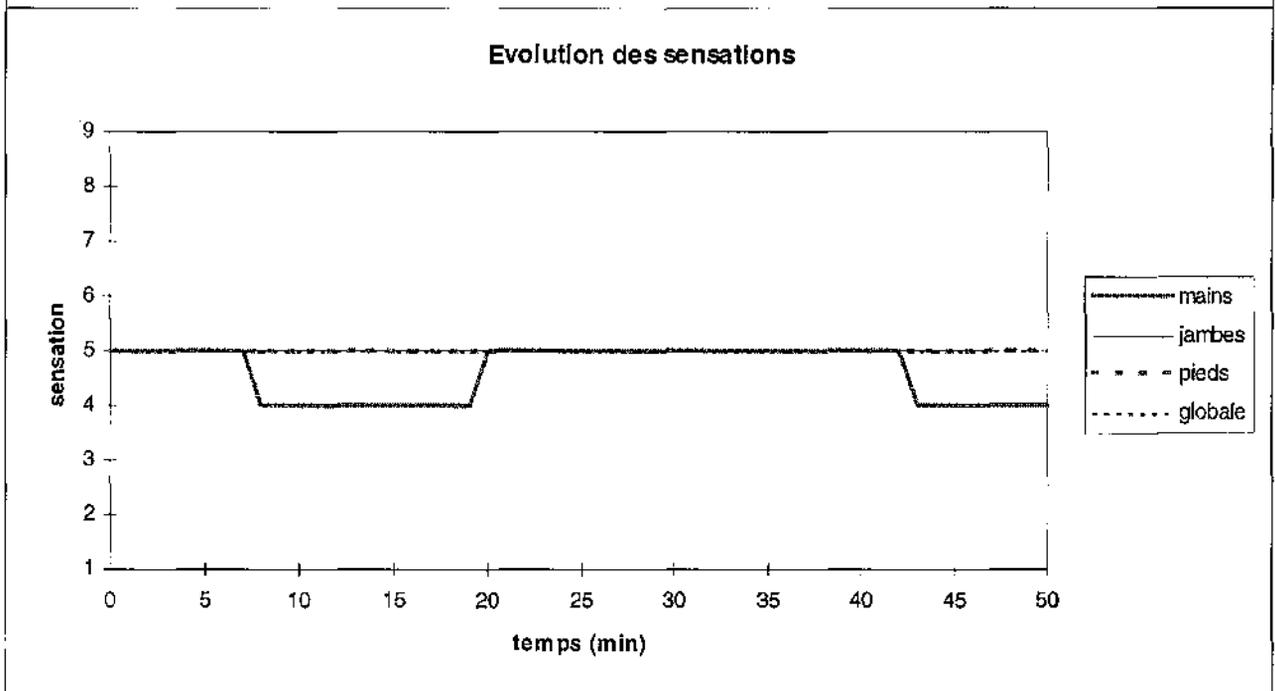
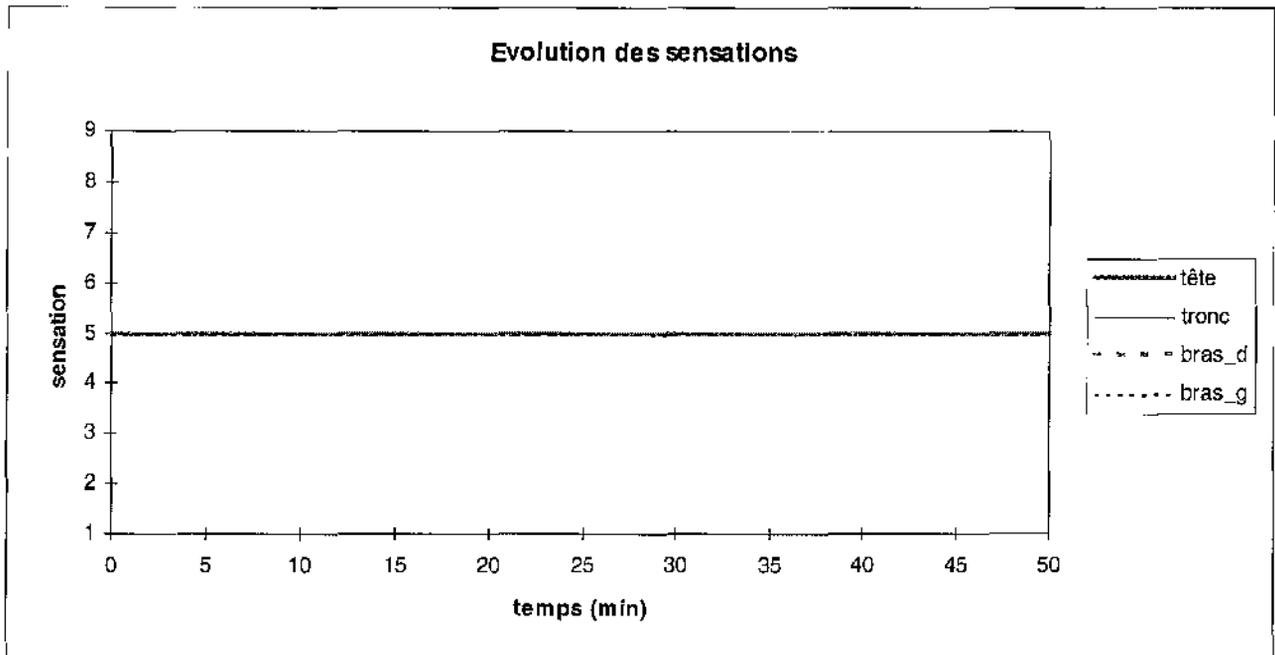
ANNEXE B

Graphes relatifs aux sensations

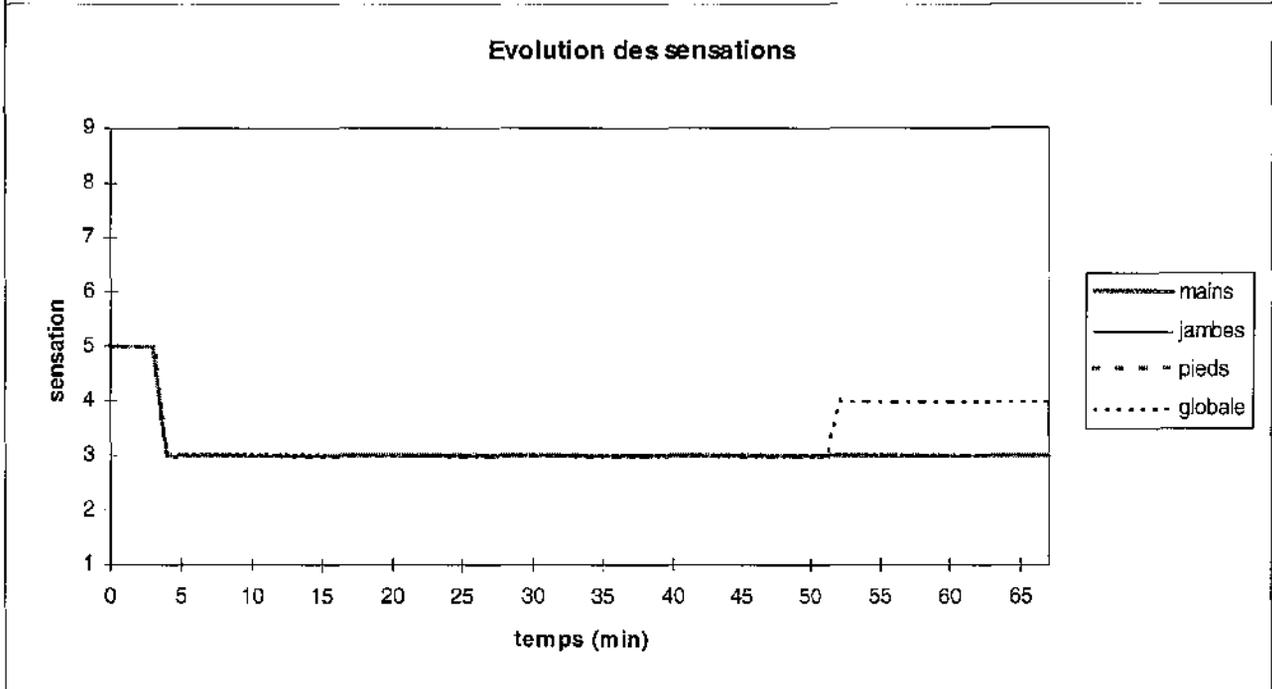
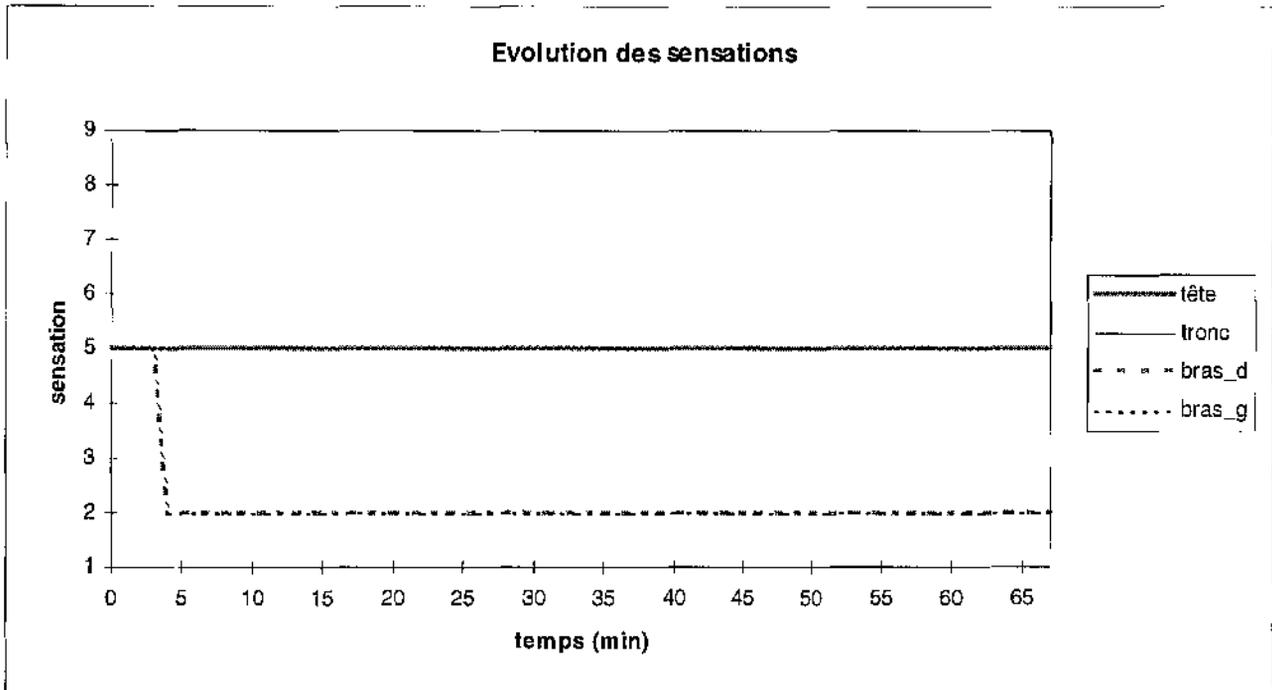
Essai n°1



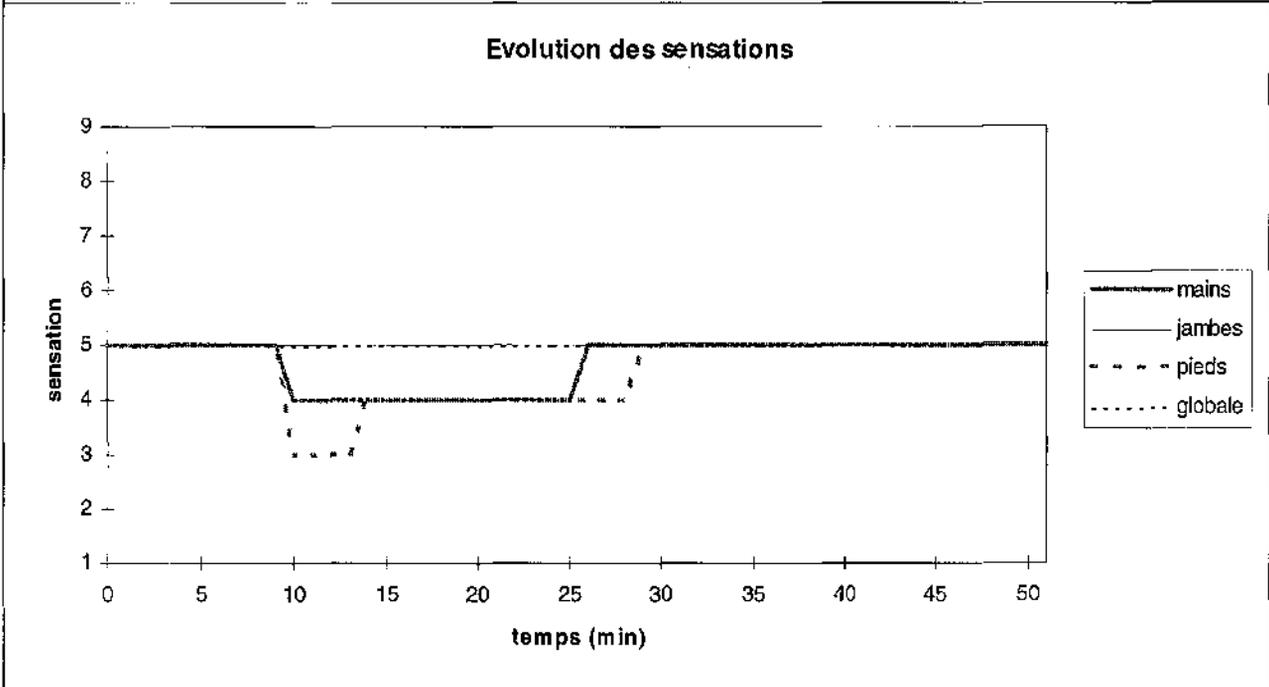
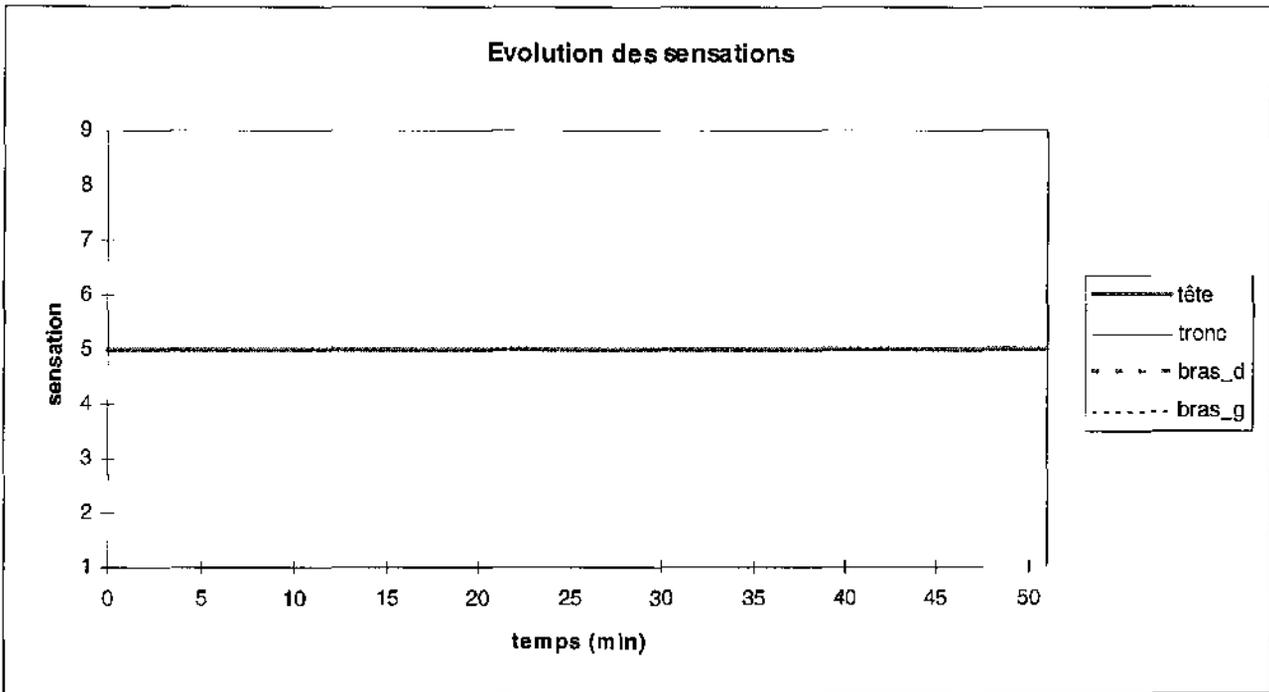
Essai n°2



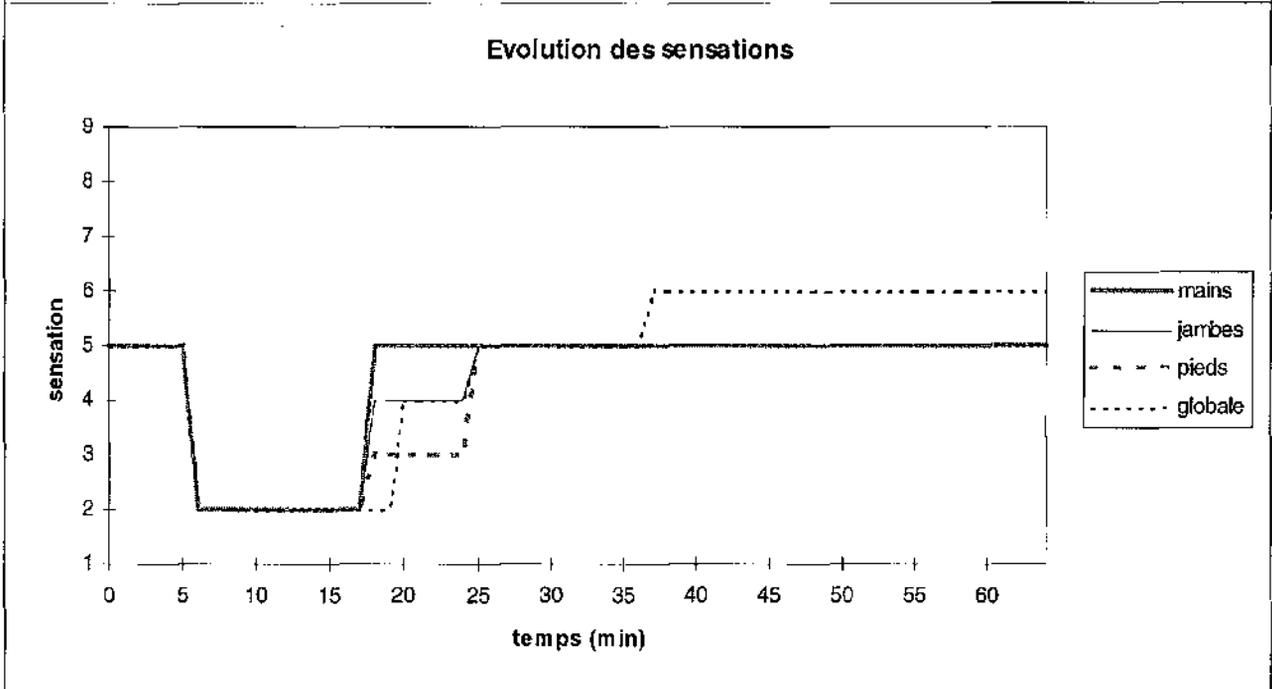
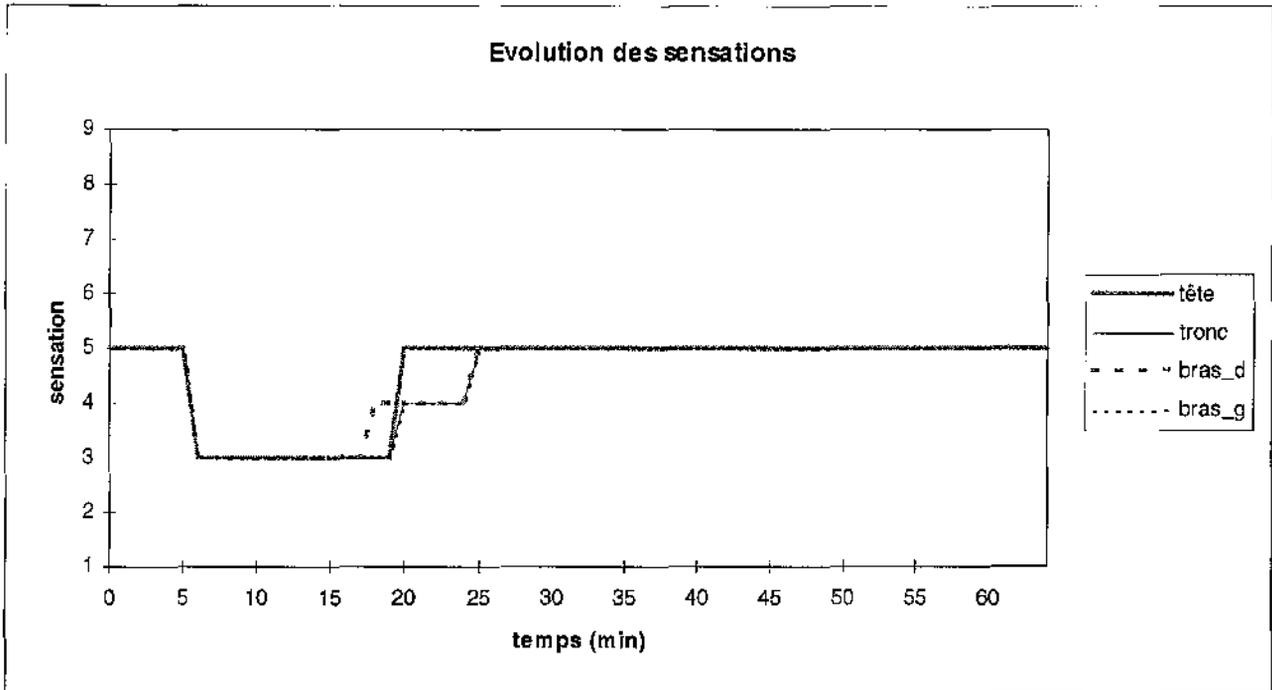
Essai n°3



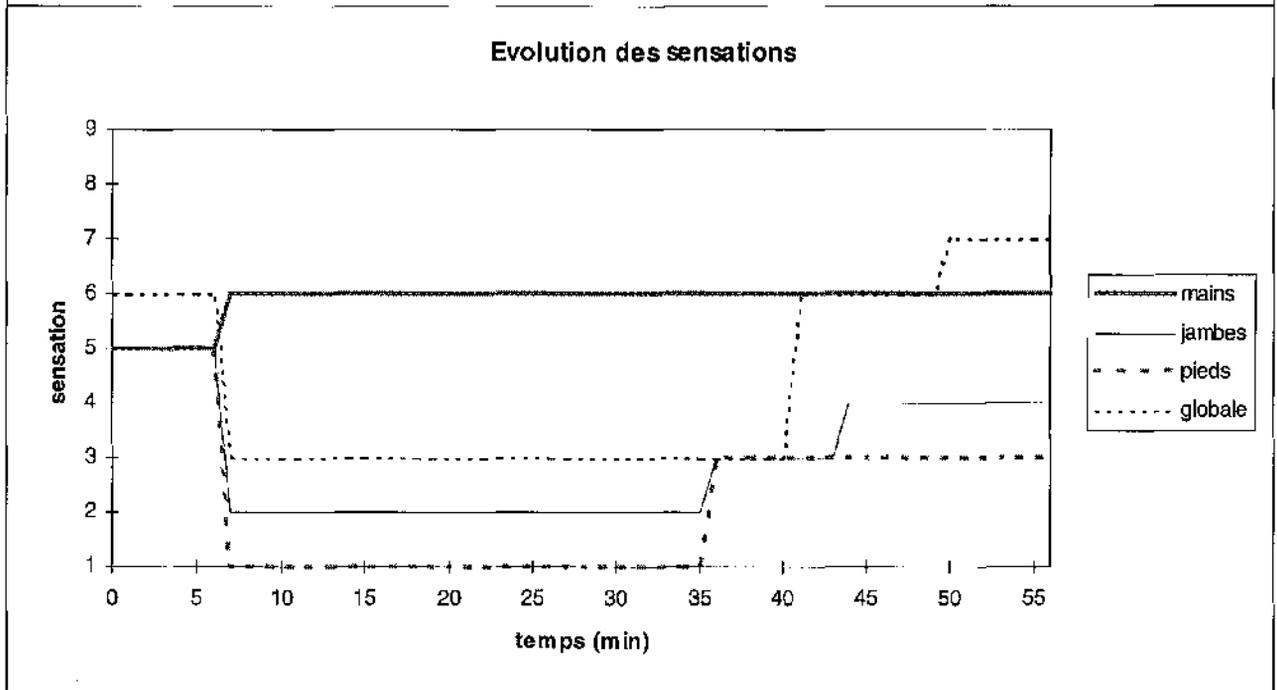
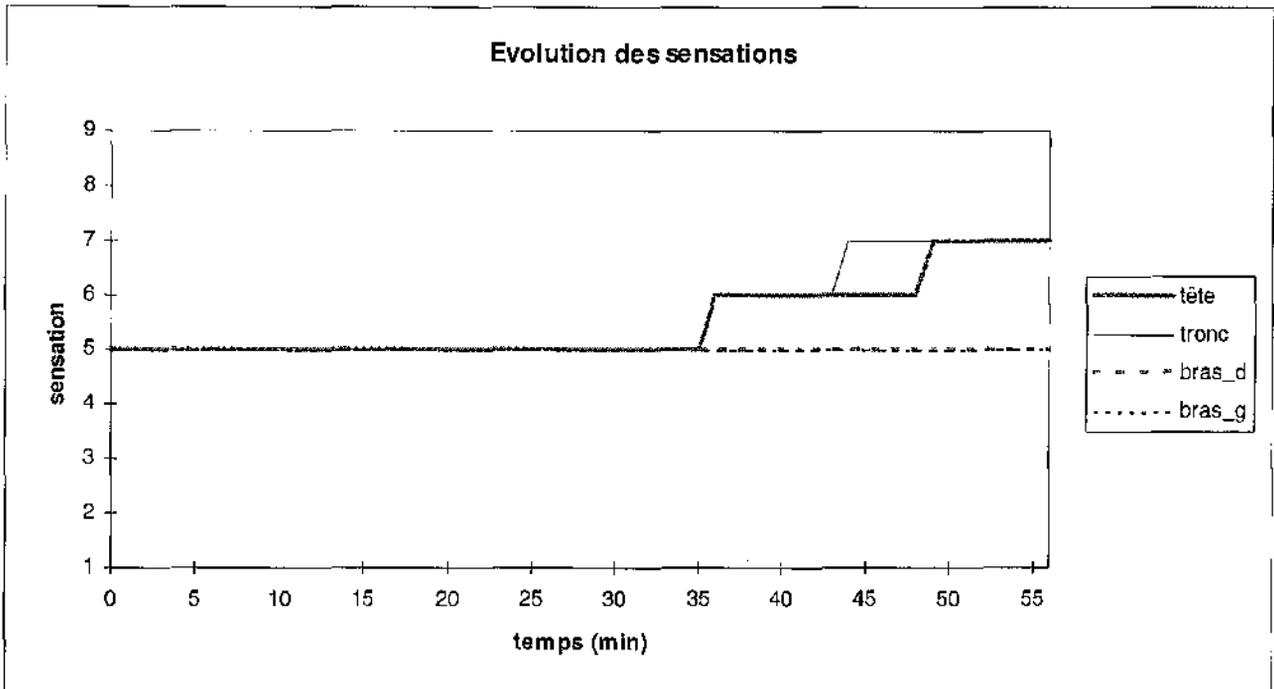
Essai n°4



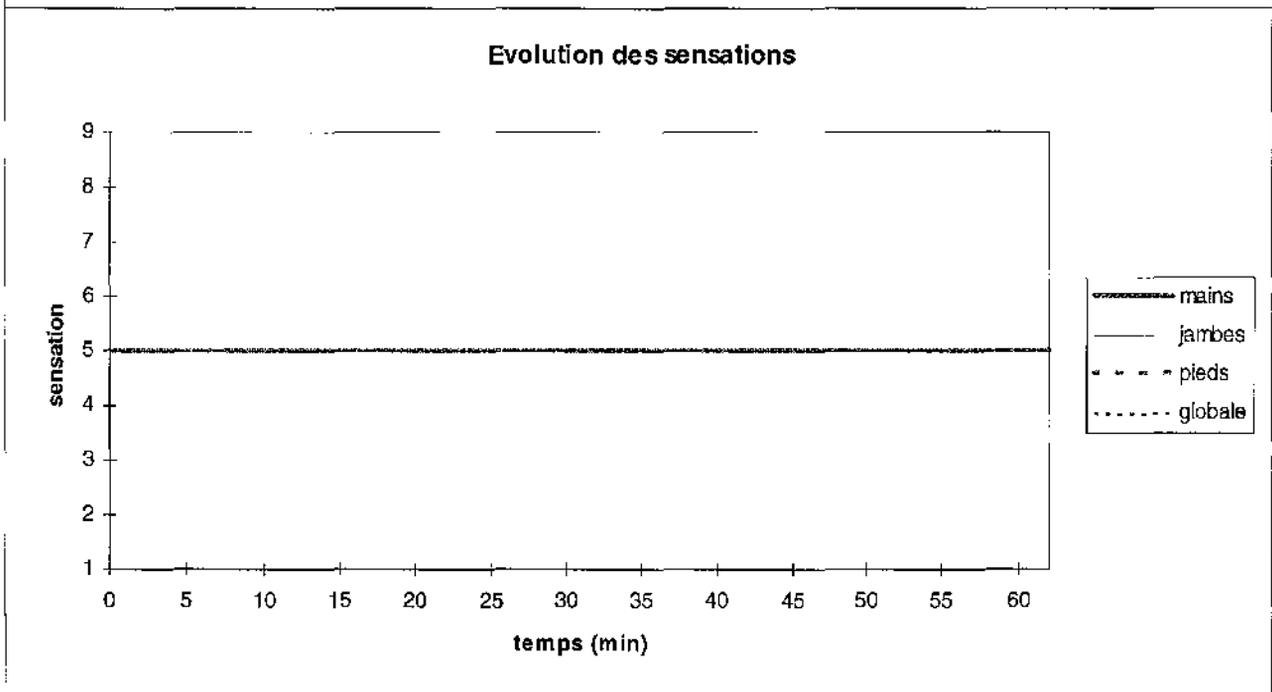
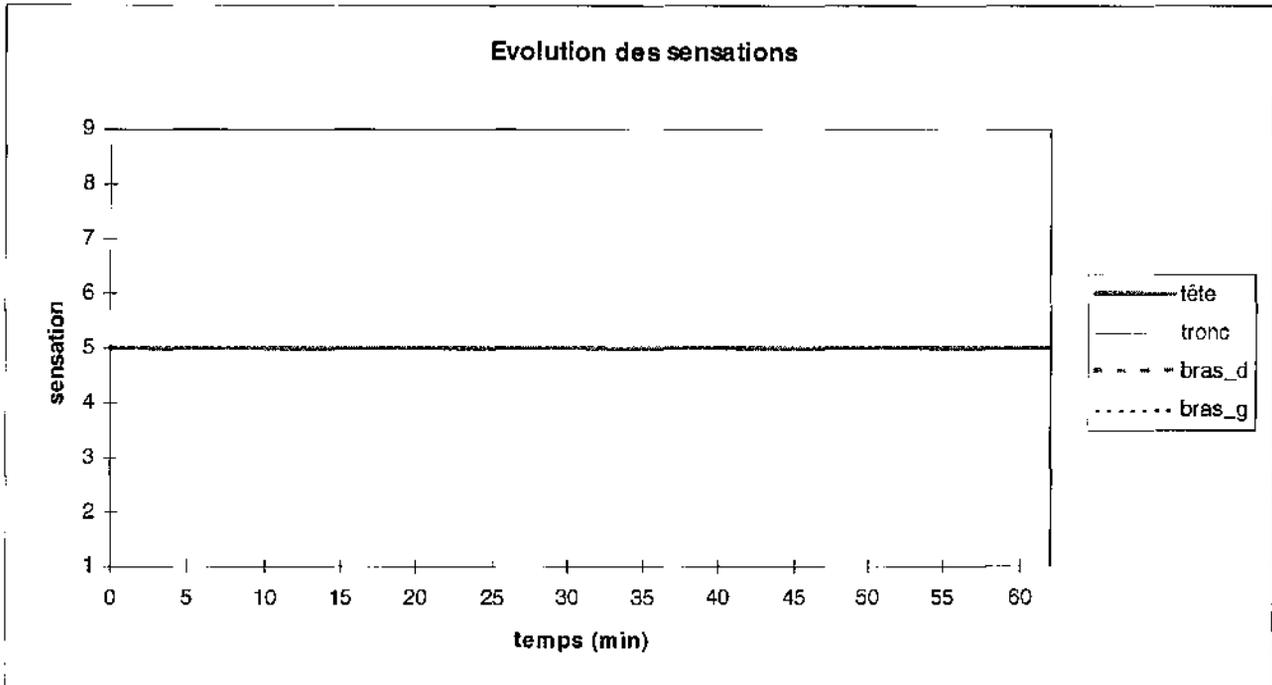
Essai n°5



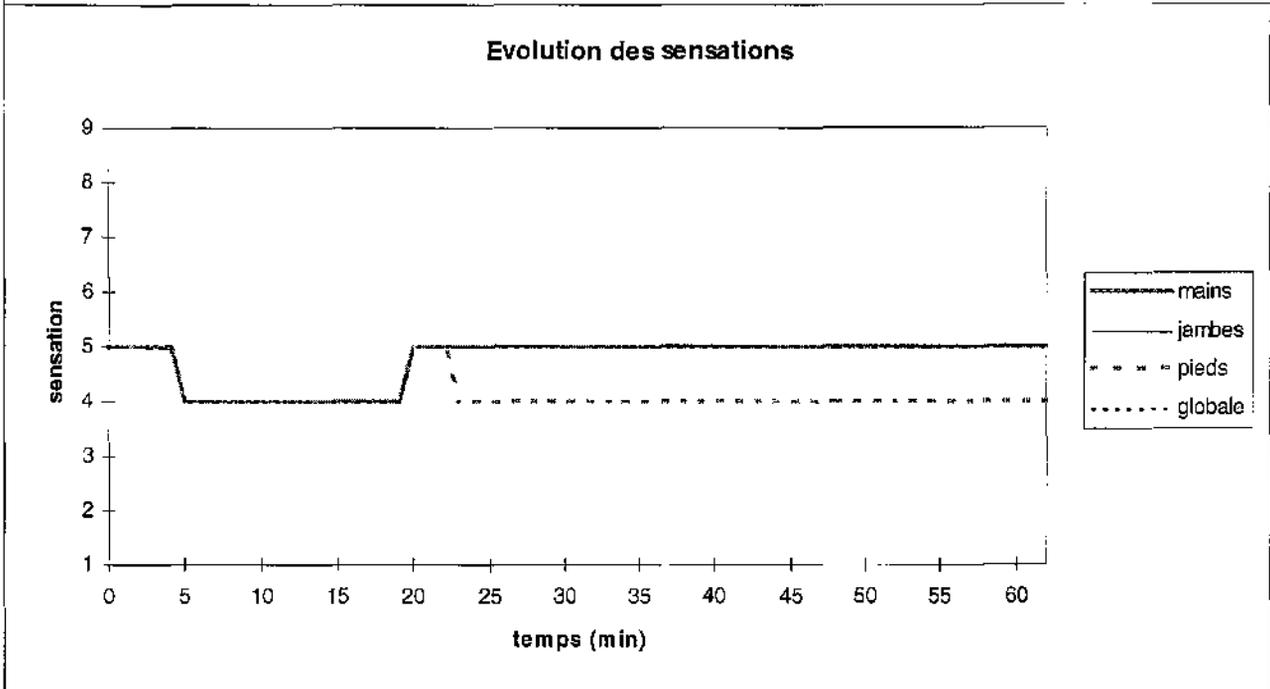
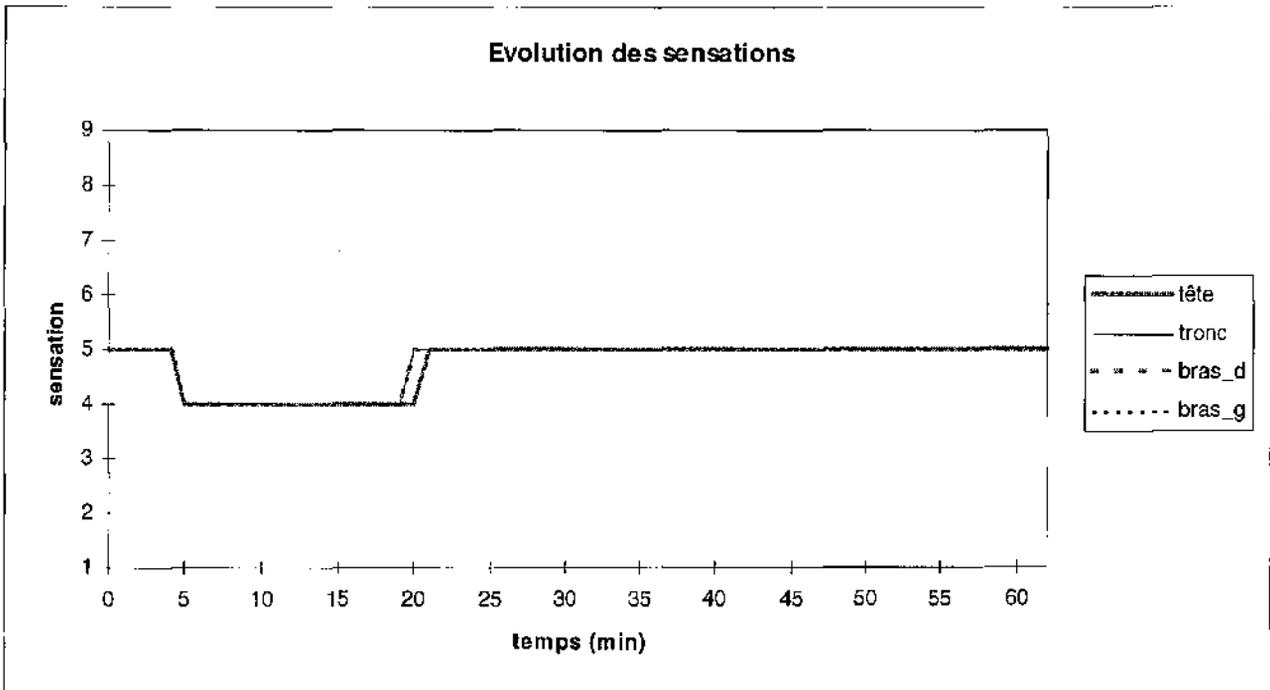
Essai n°6



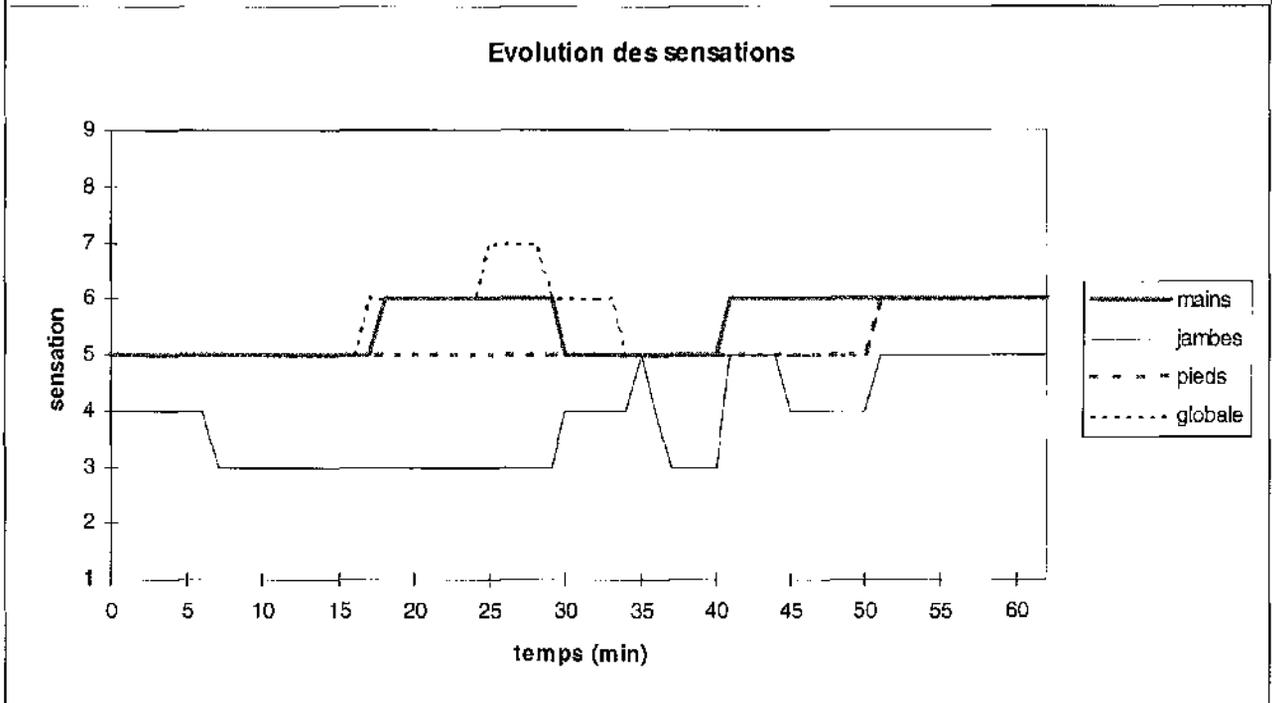
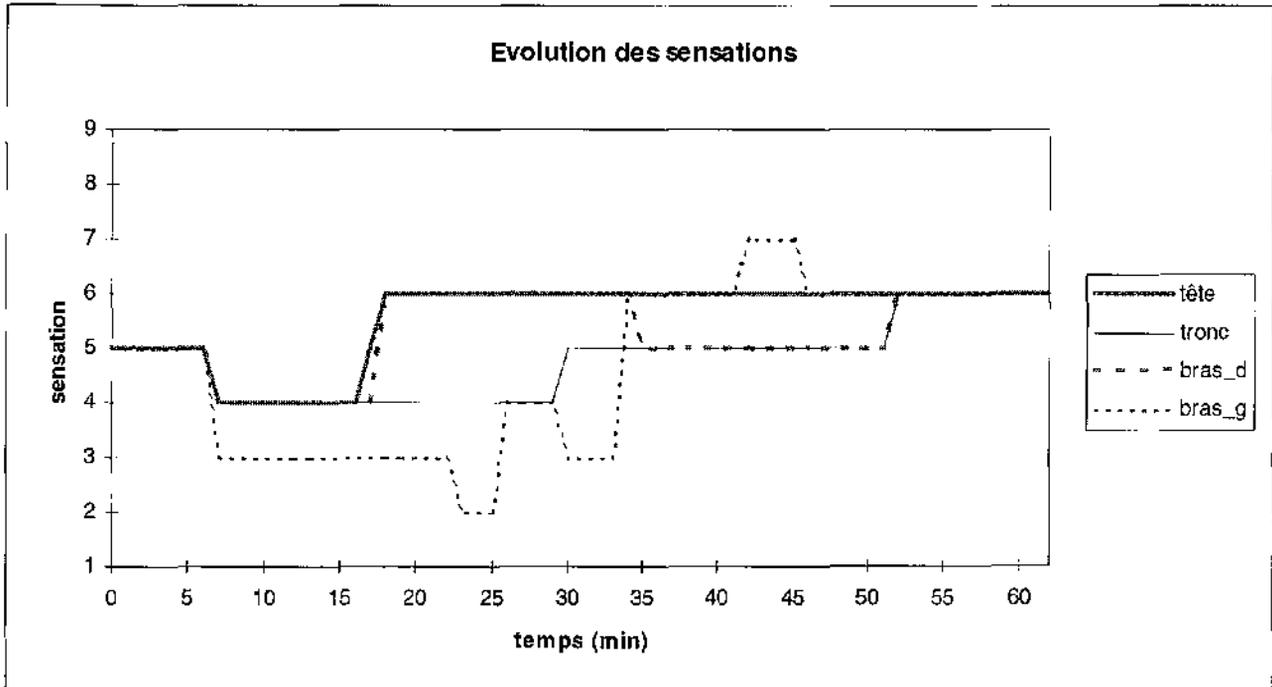
Essai n°7



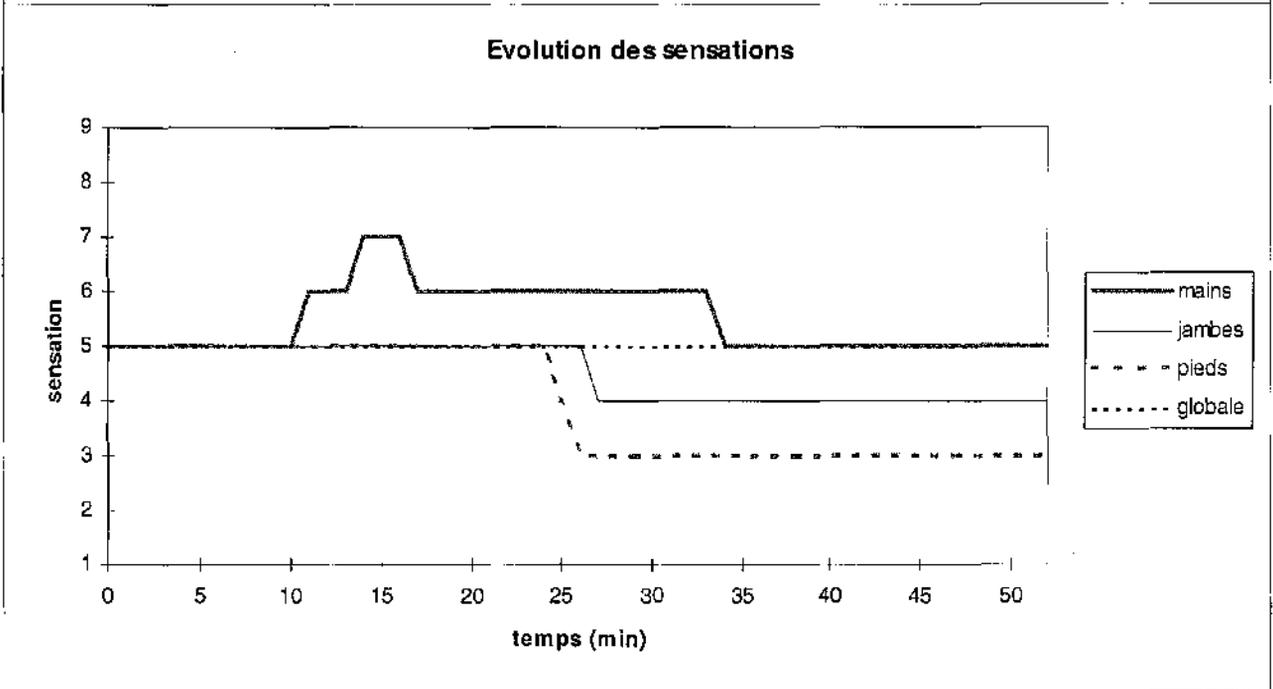
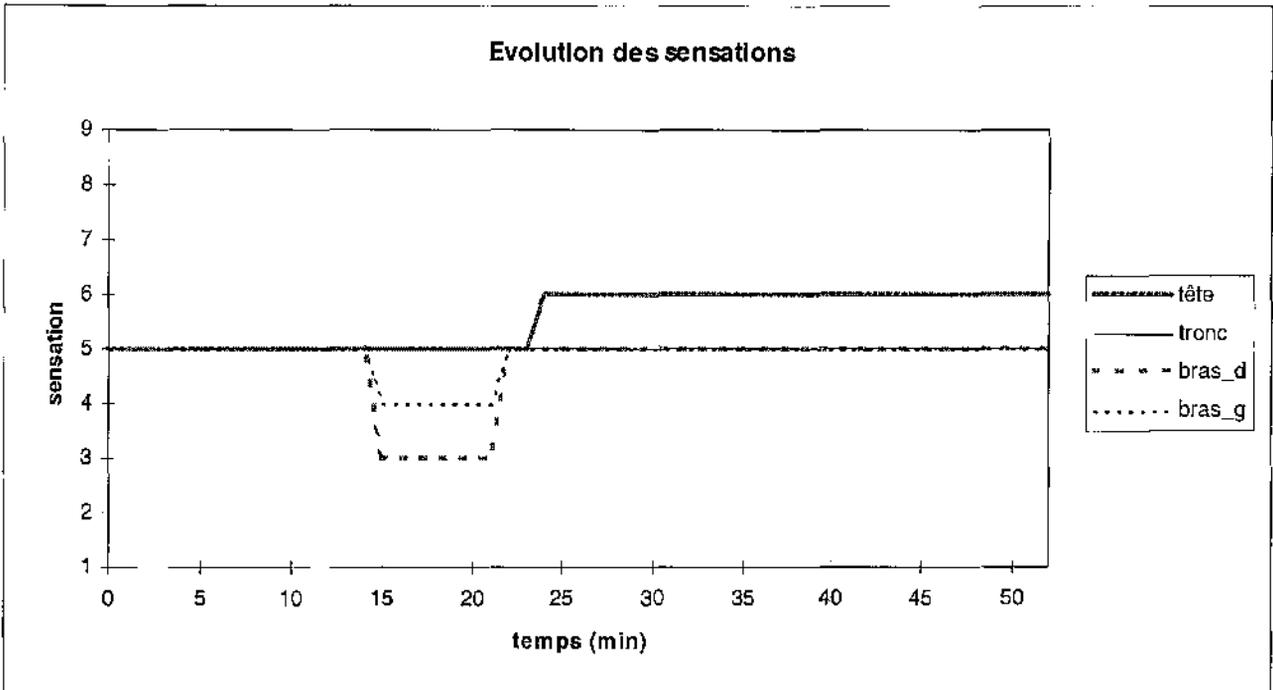
Essai n°8



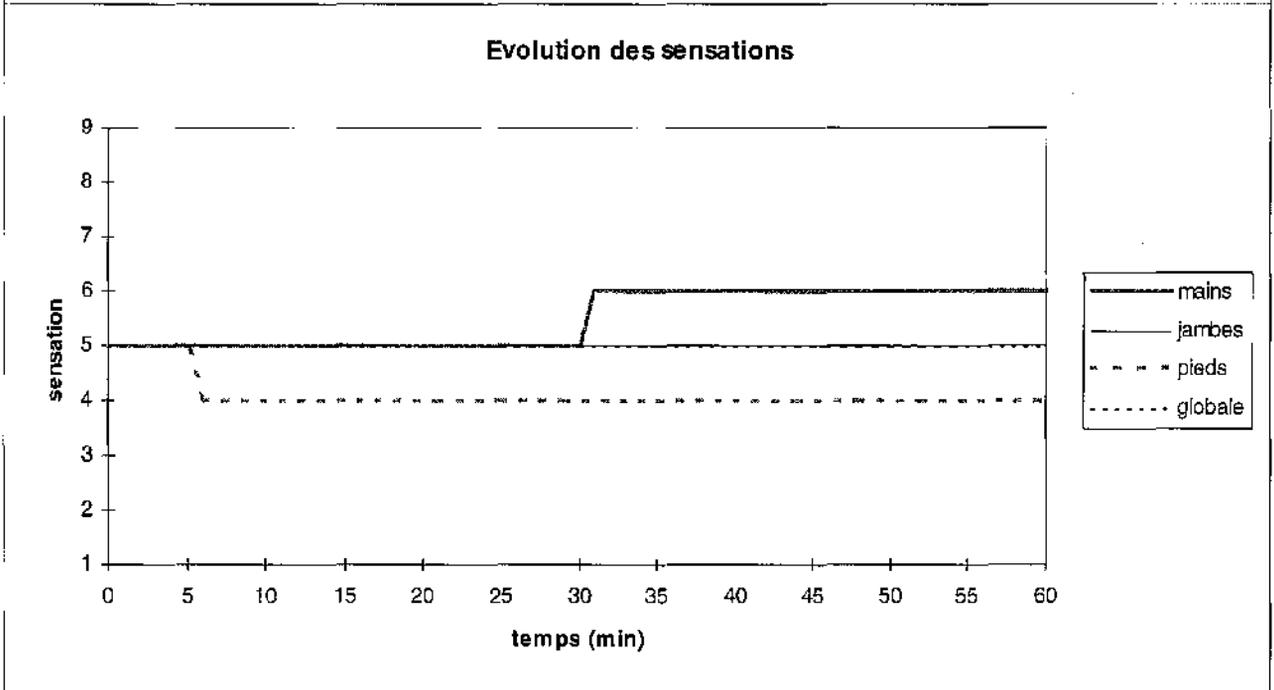
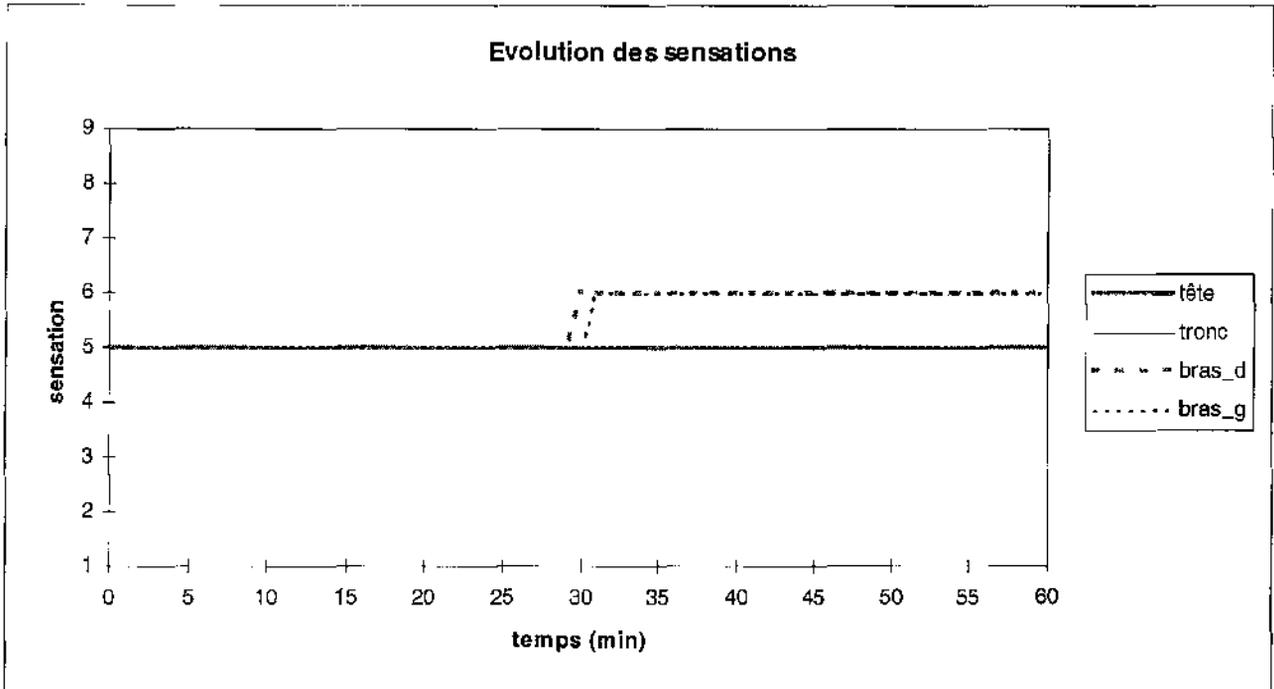
Essai n°9



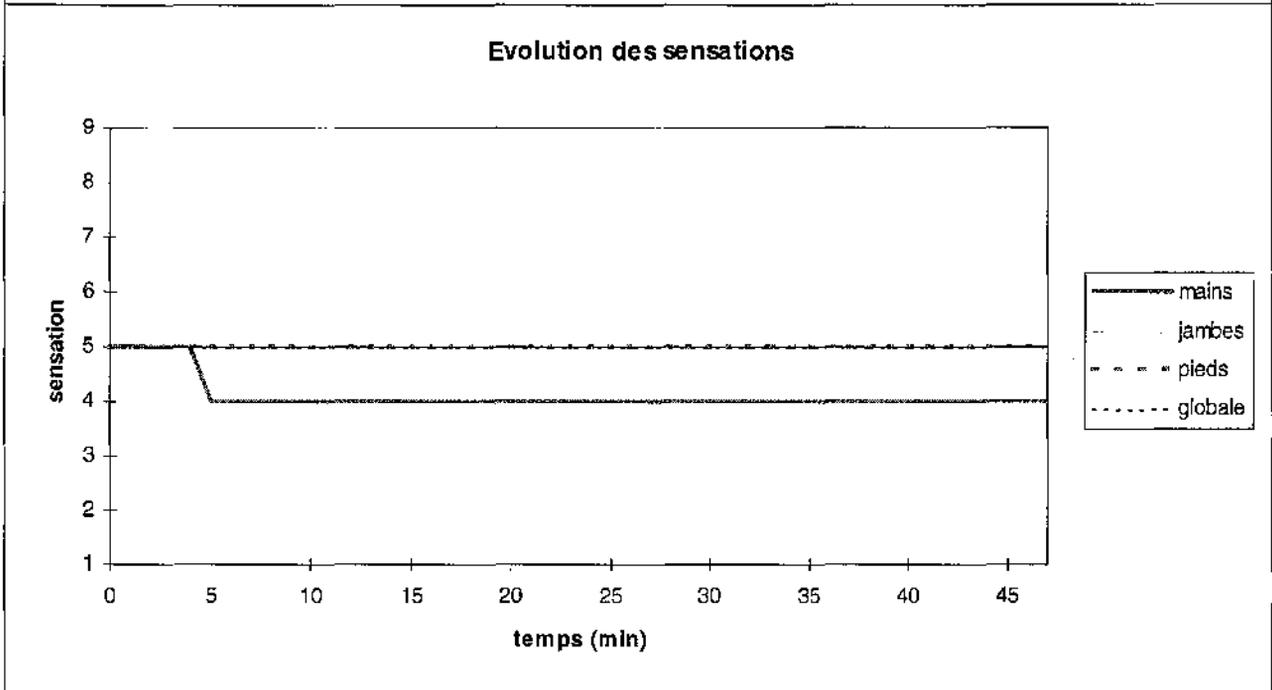
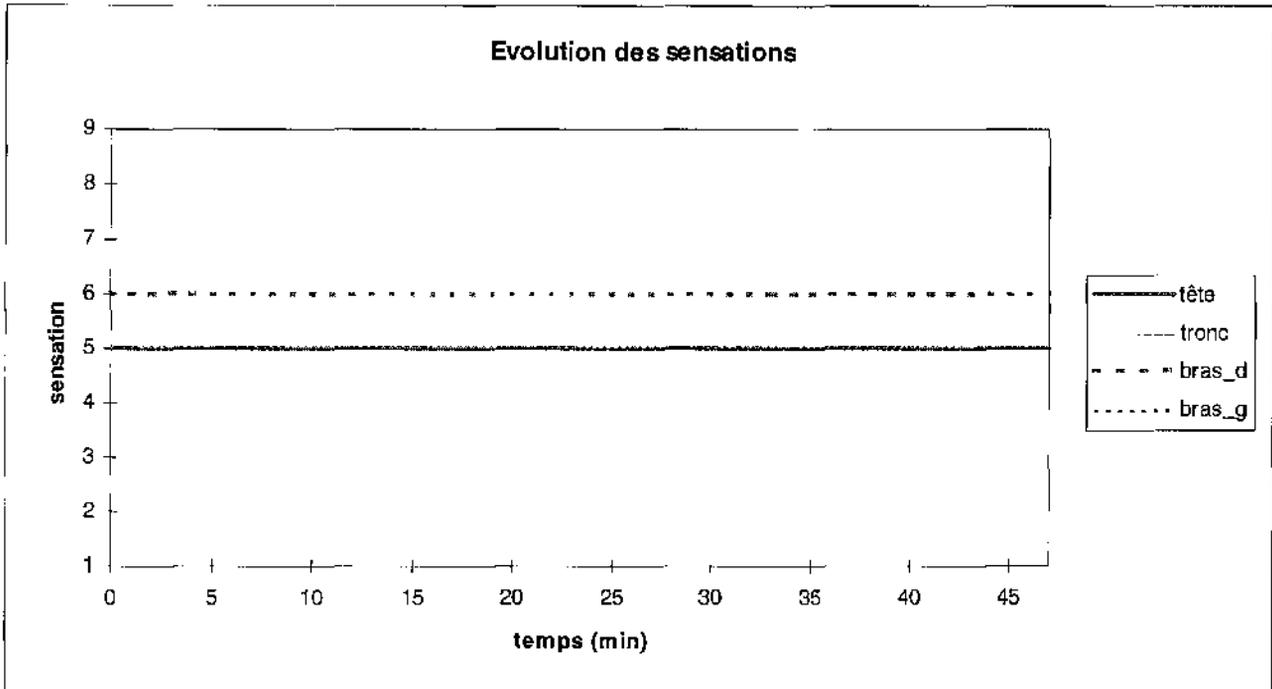
Essai n°10



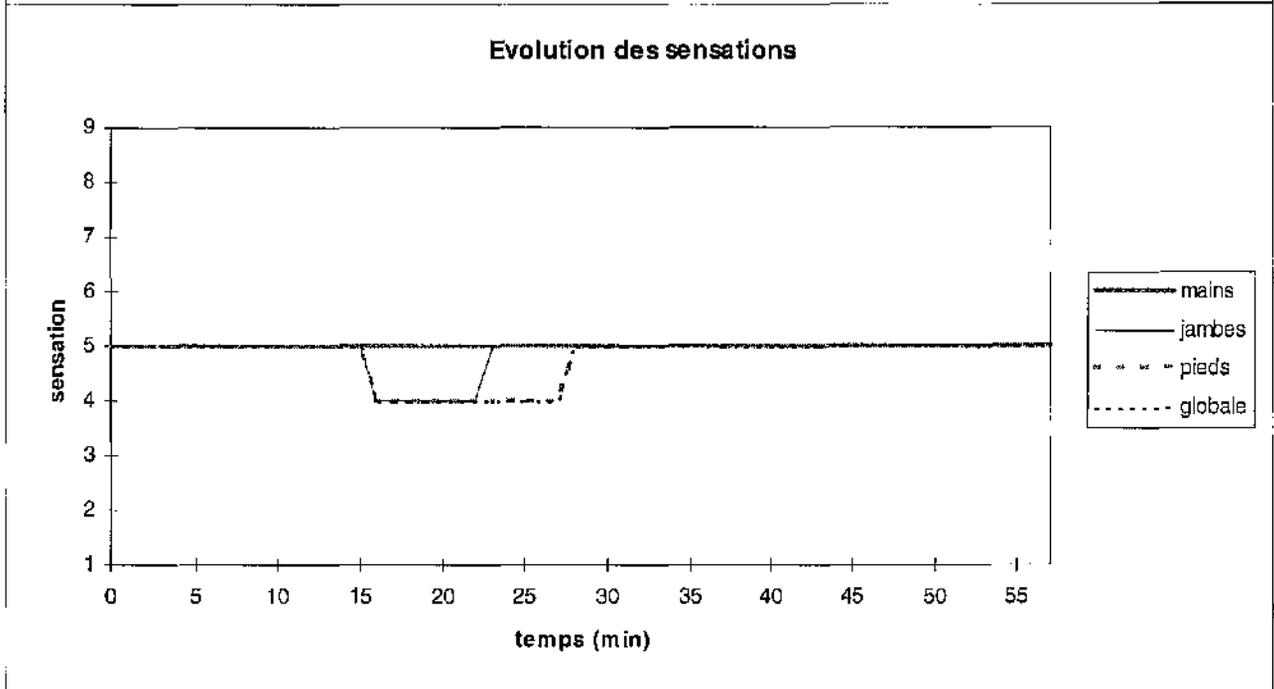
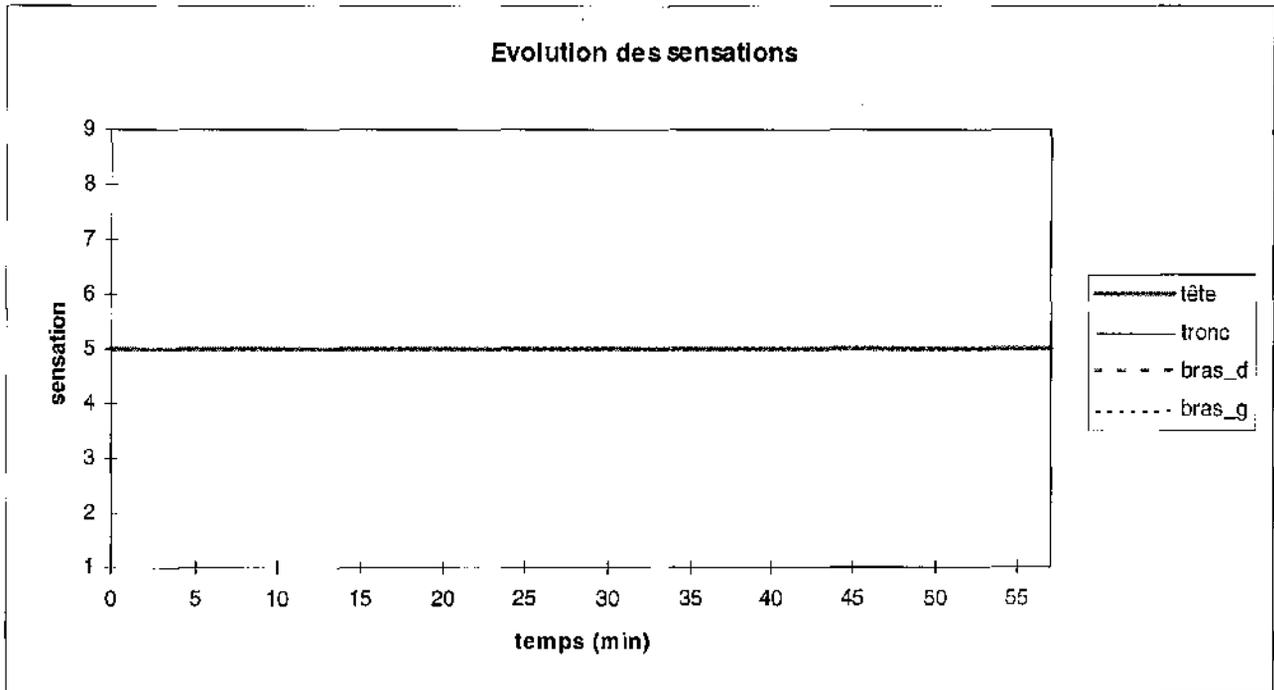
Essai n°11



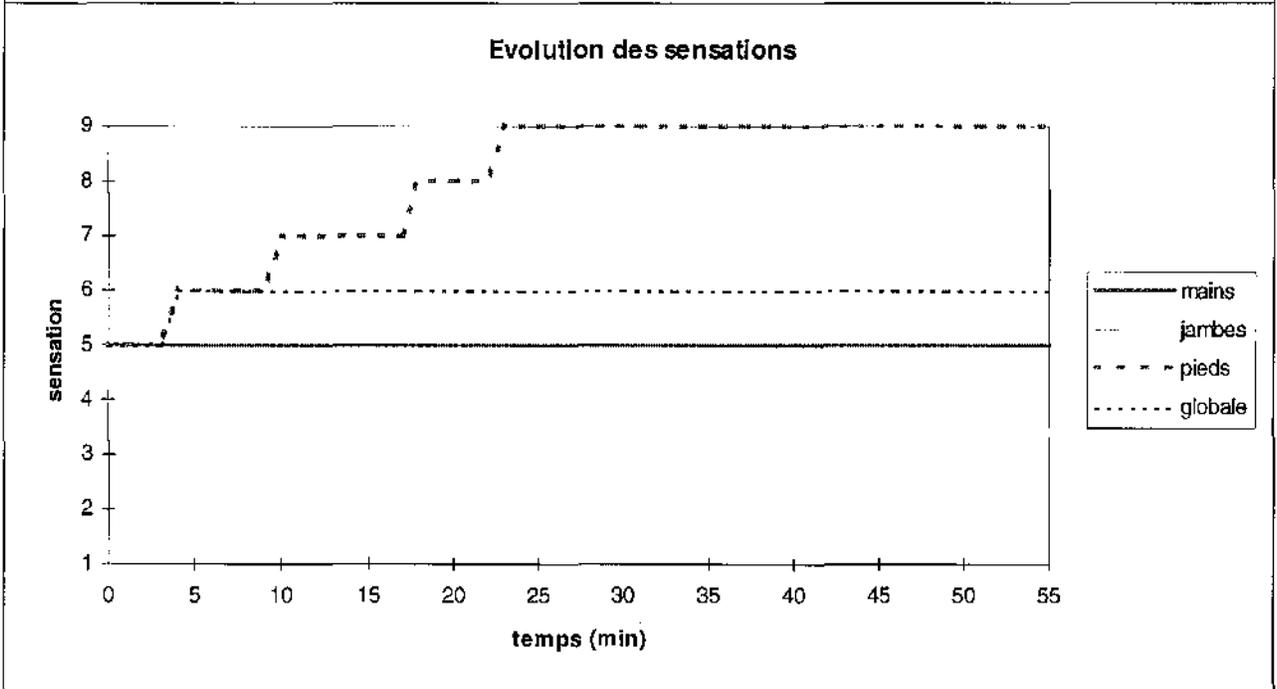
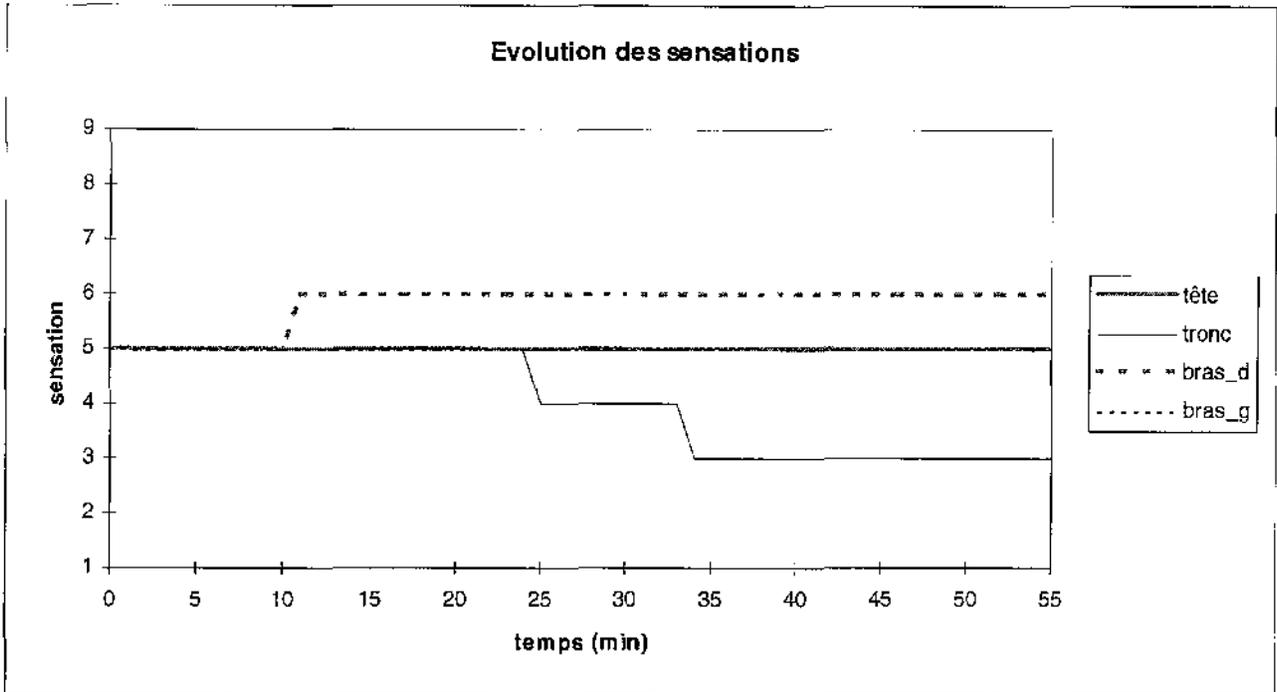
Essai n°12



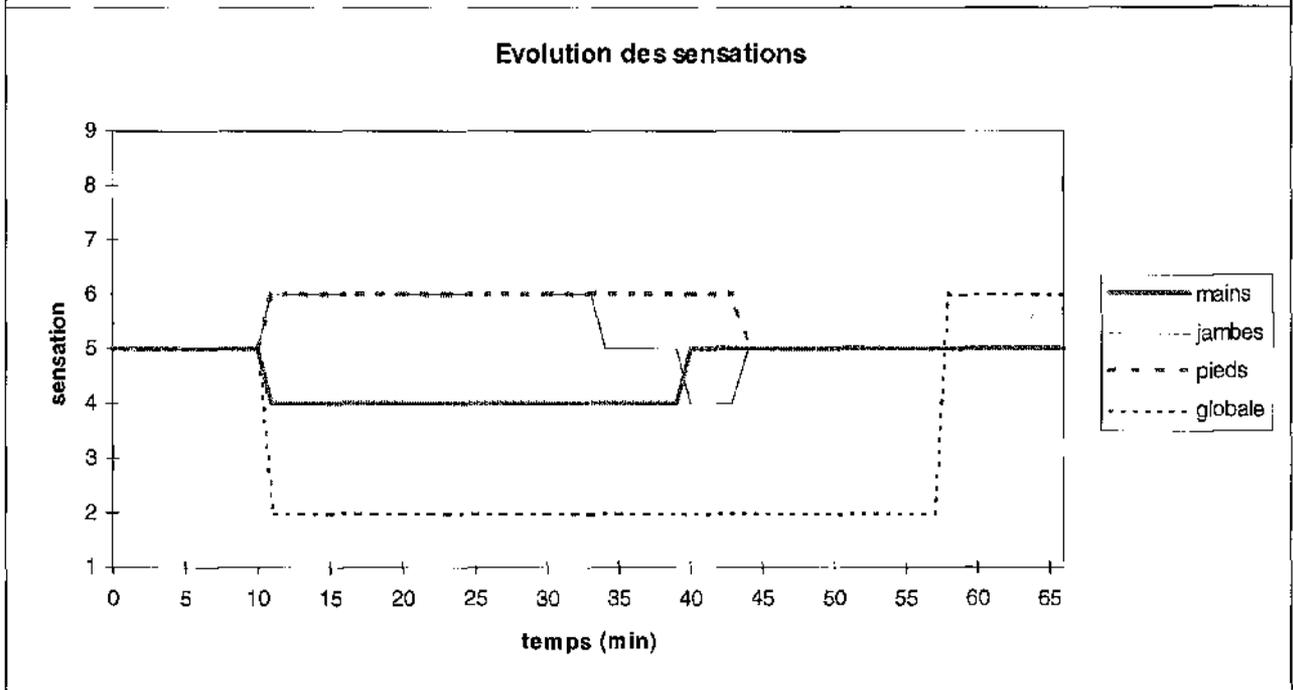
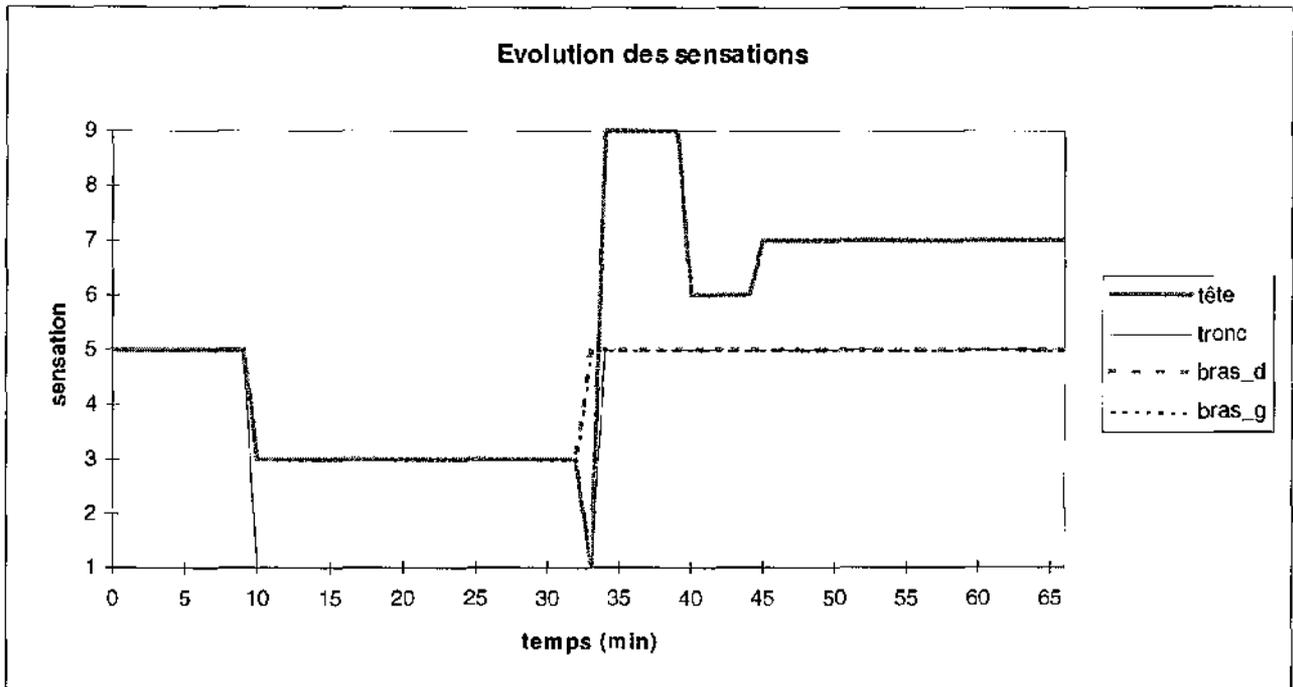
Essai n°13



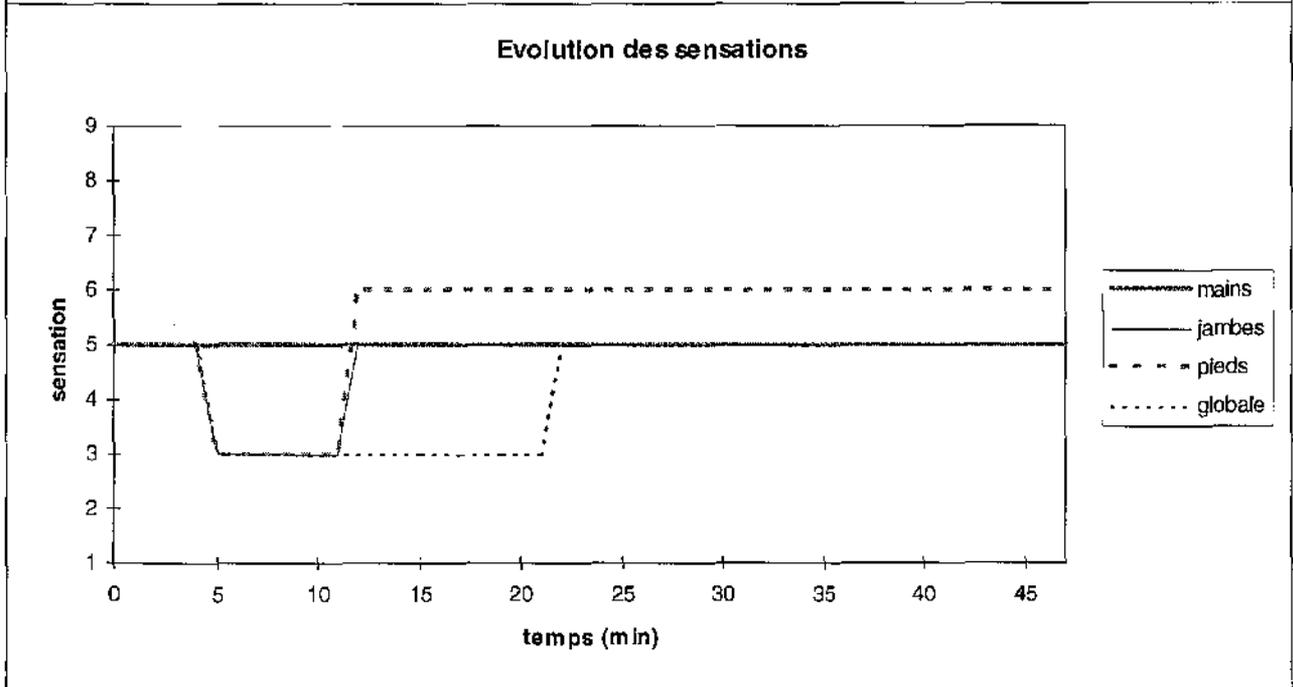
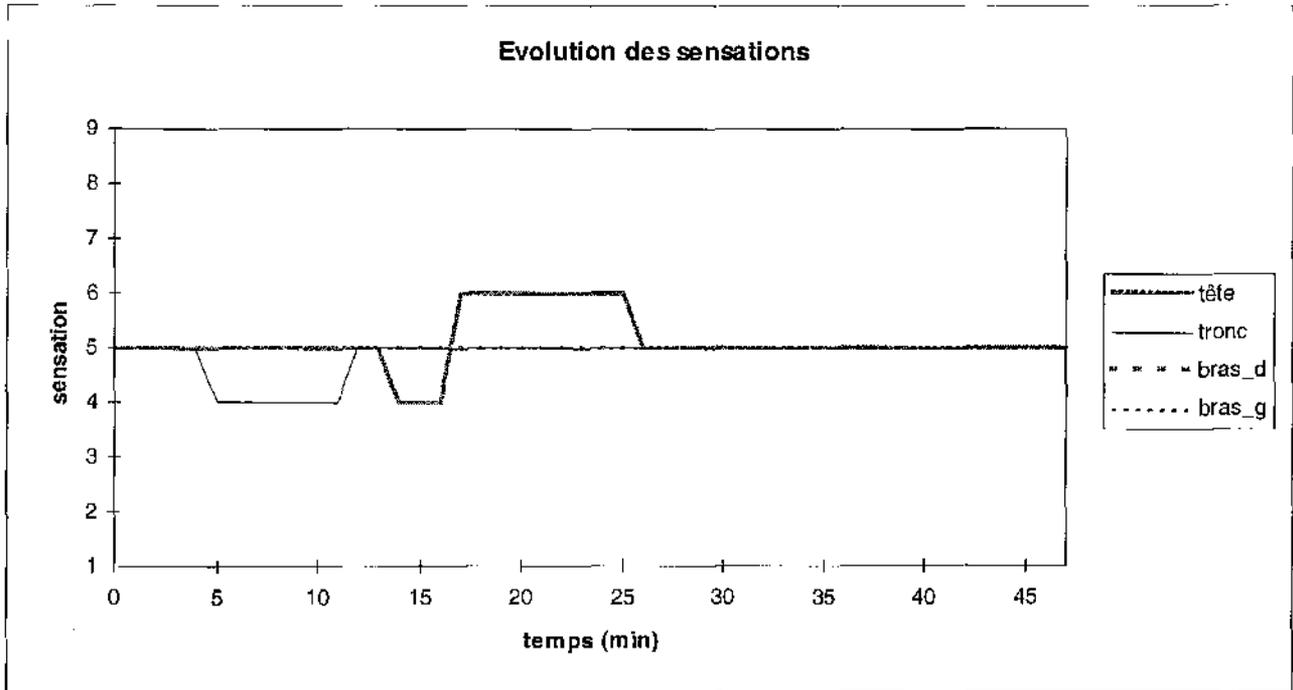
Essai n°14



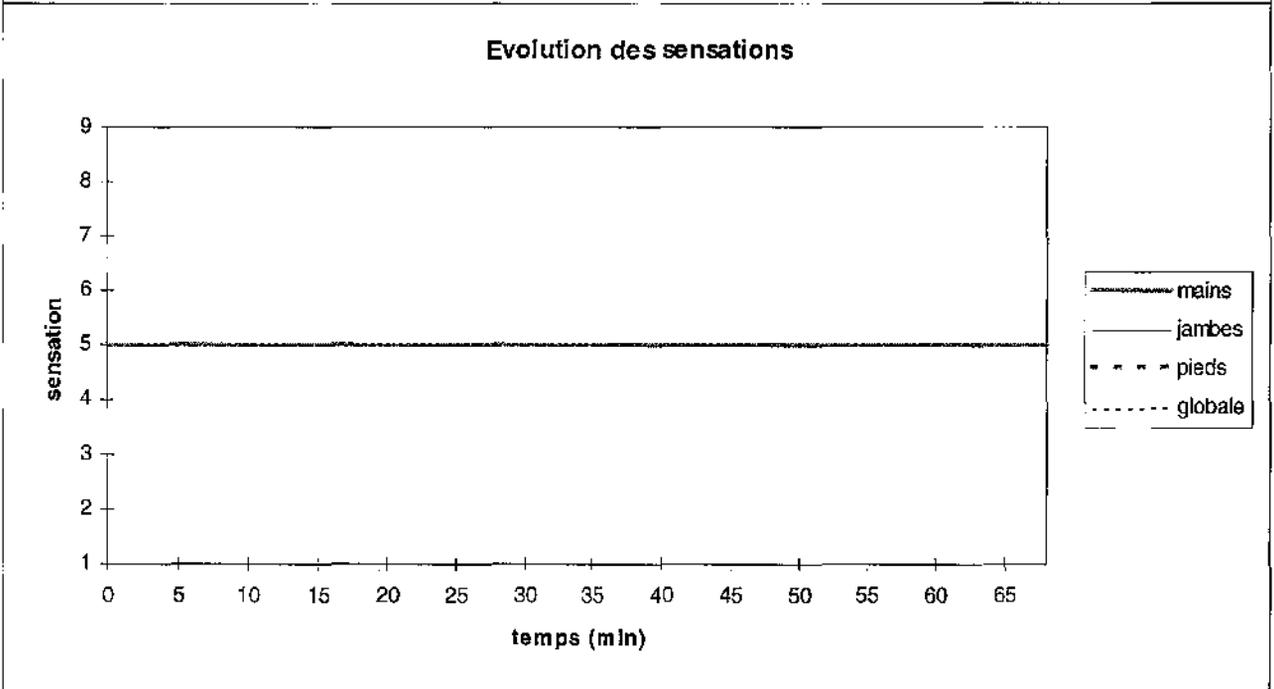
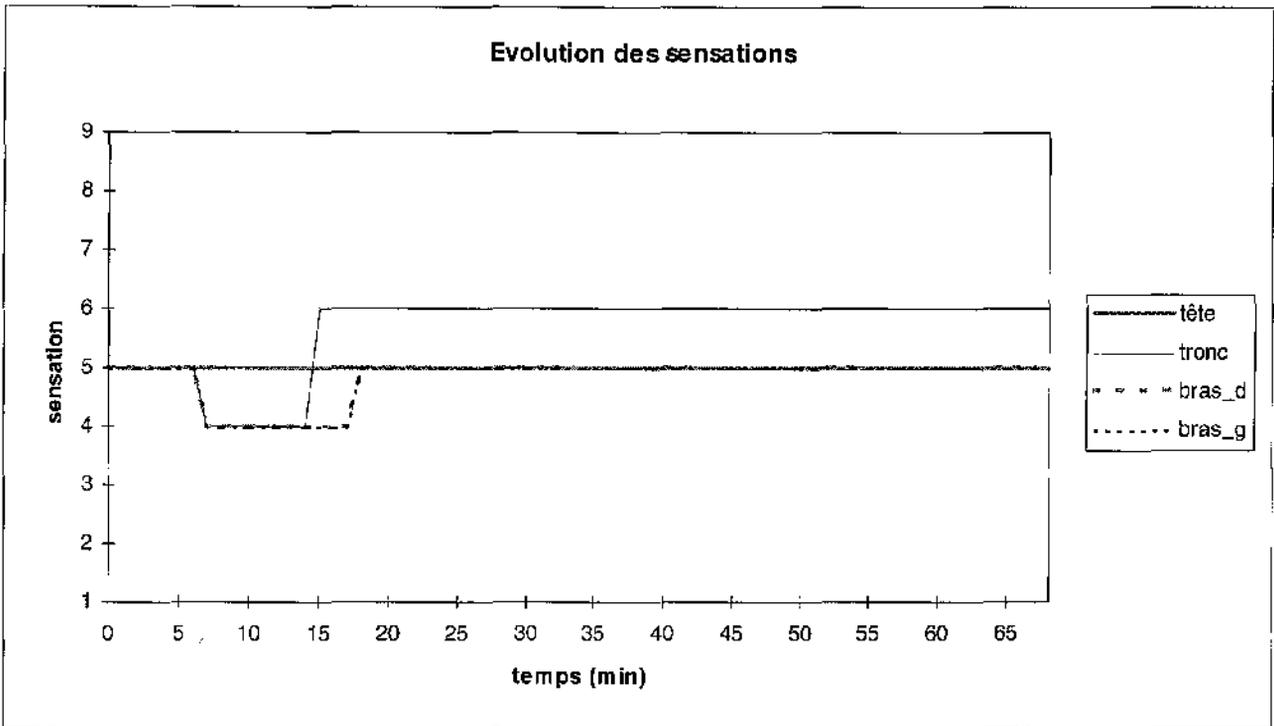
Essai n°15



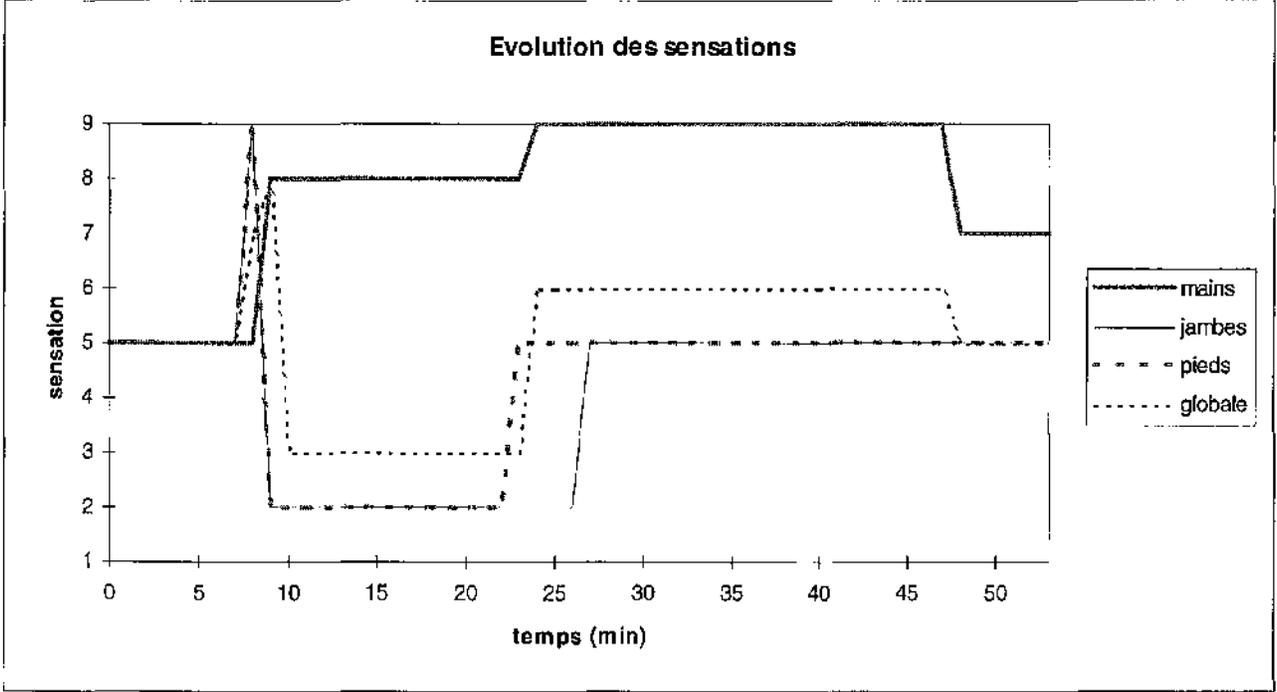
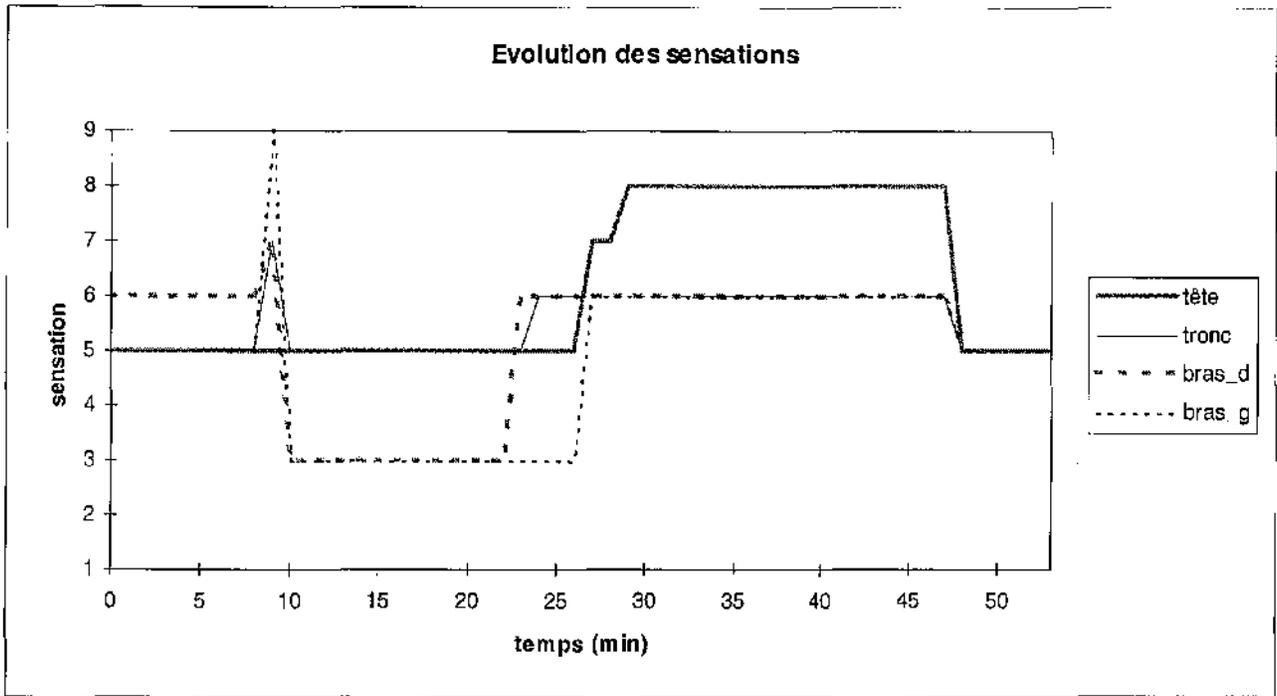
Essai n°16



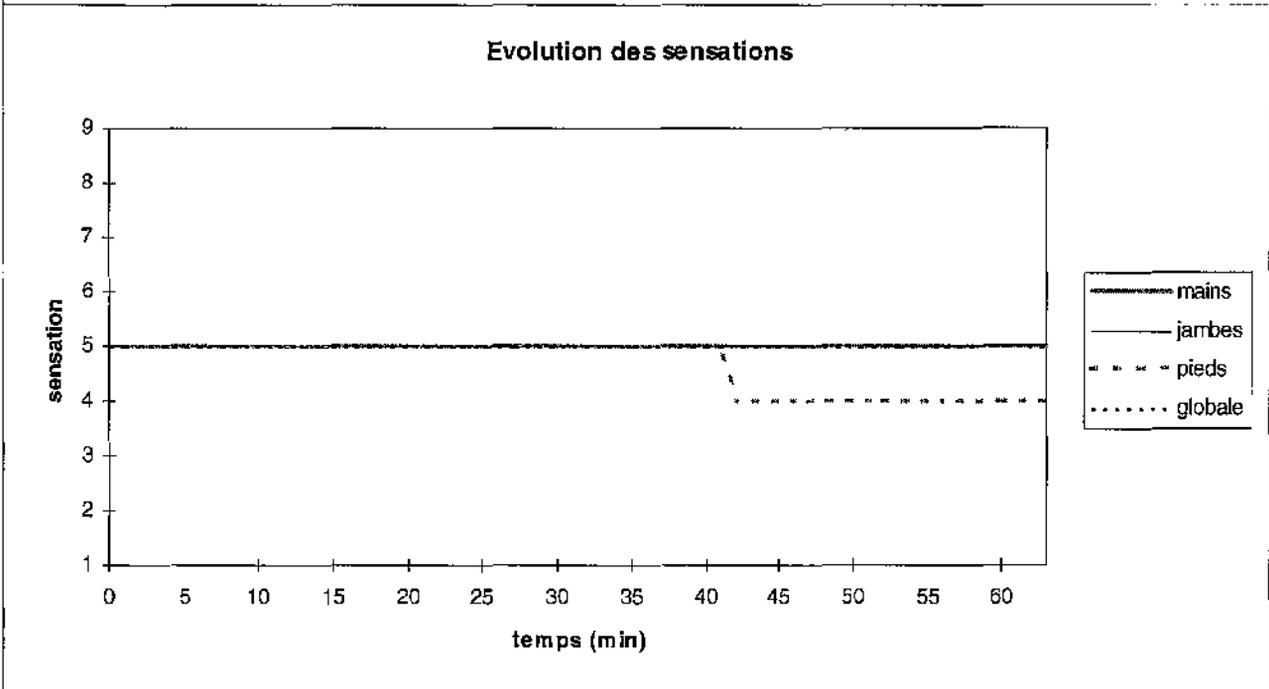
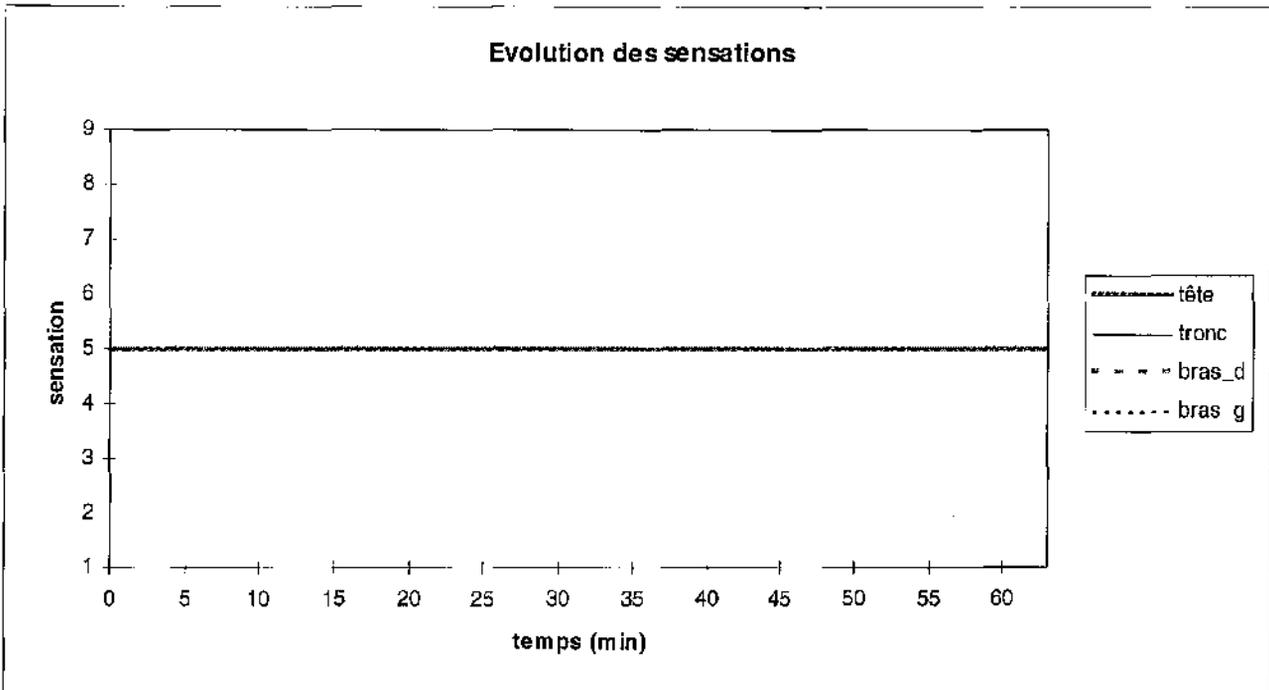
Essai n°17



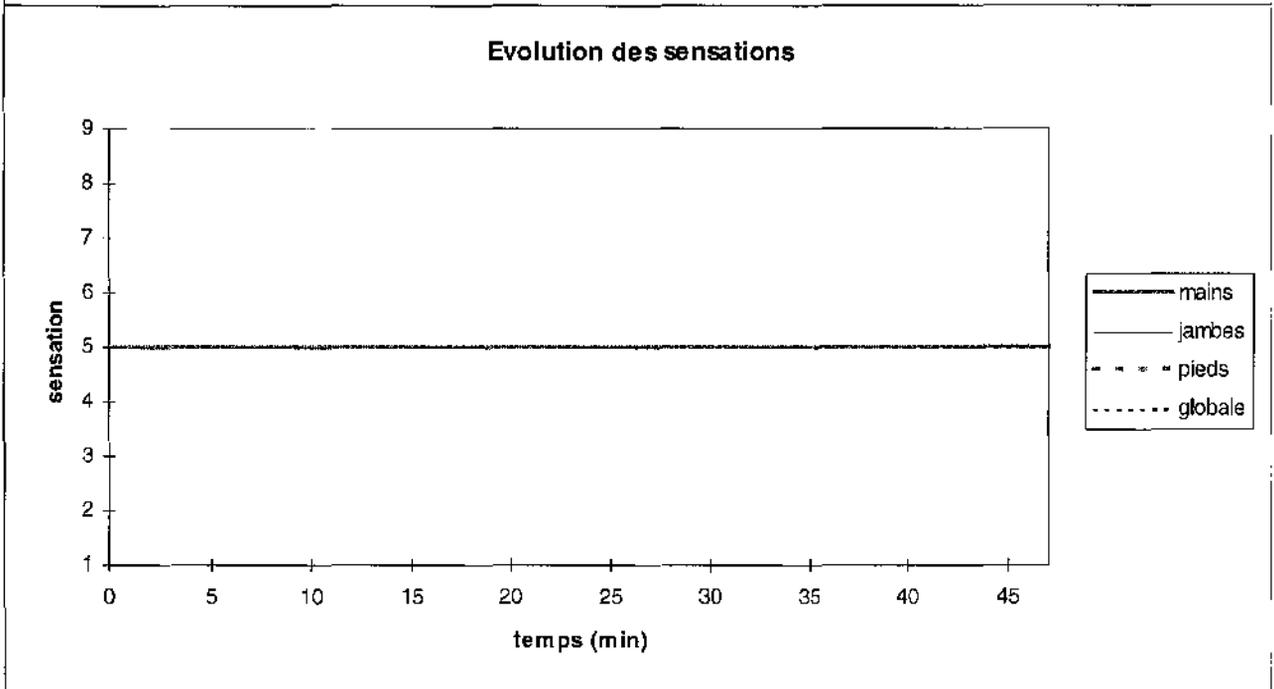
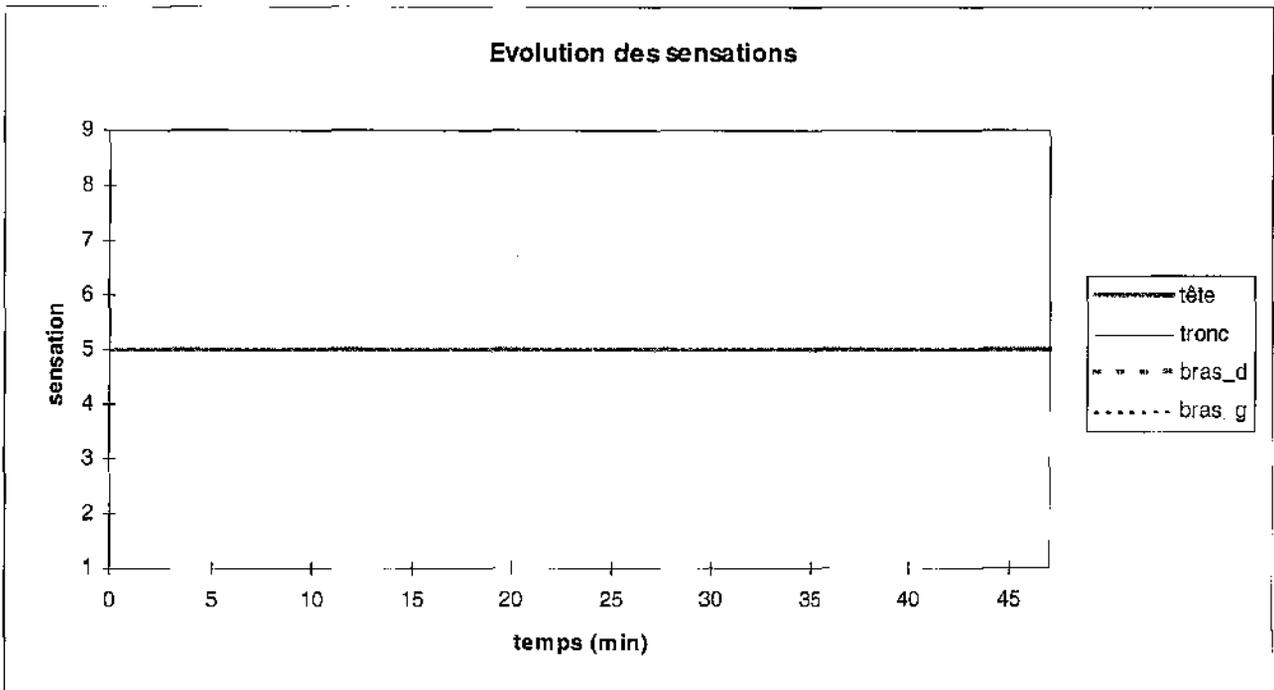
Essai n°18



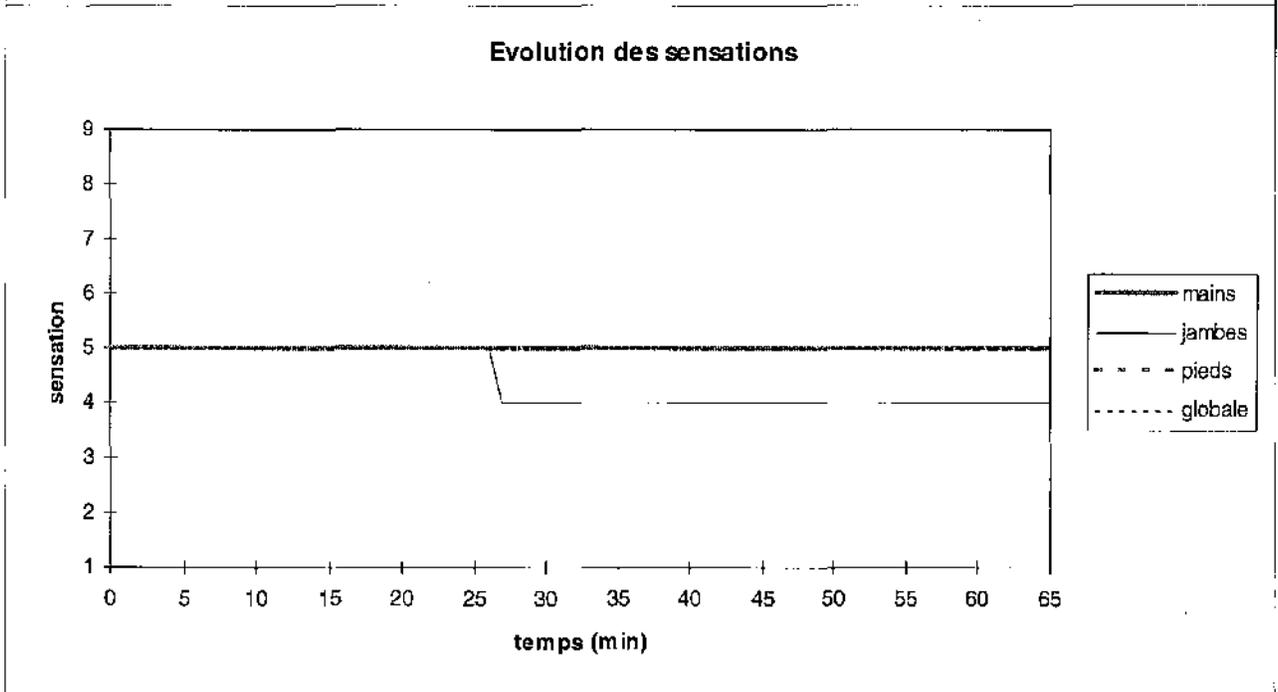
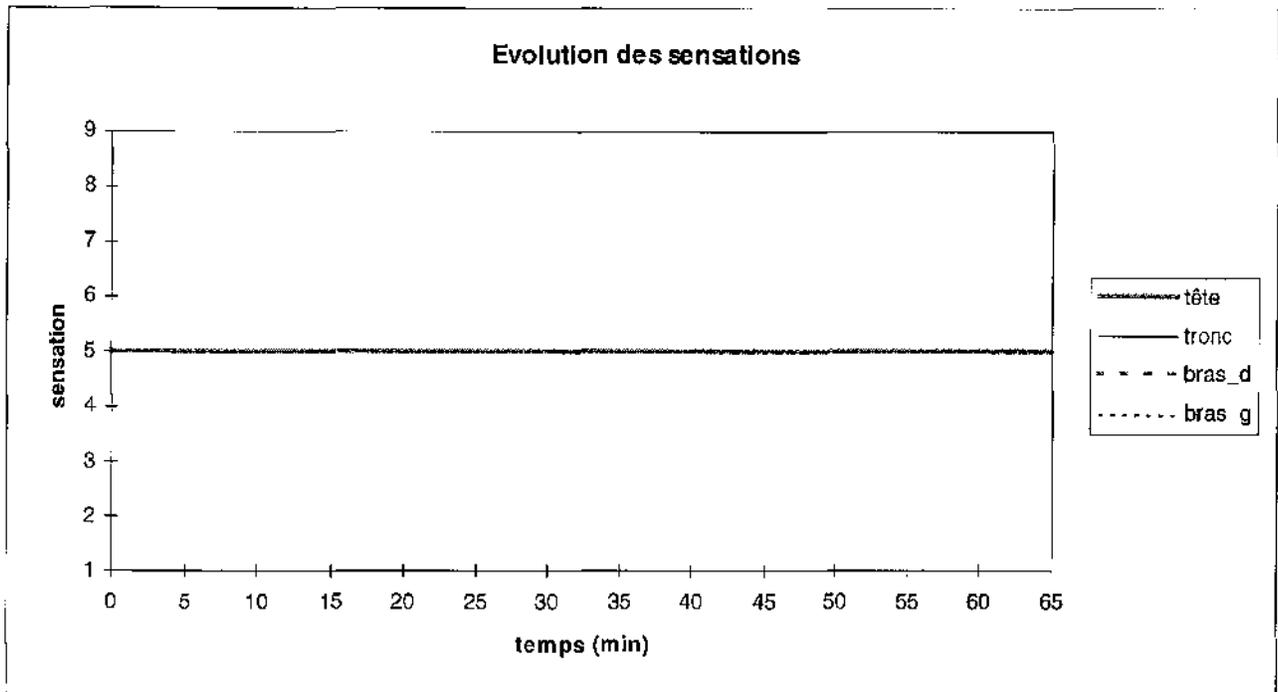
Essai n°19



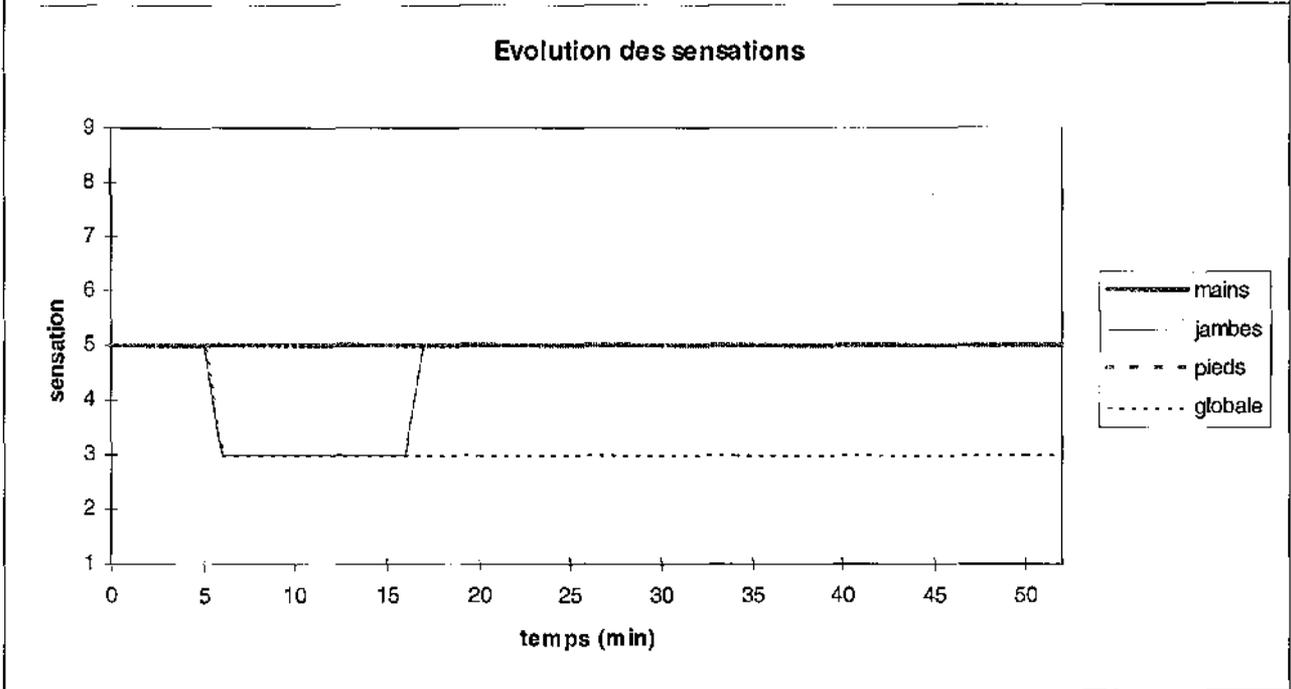
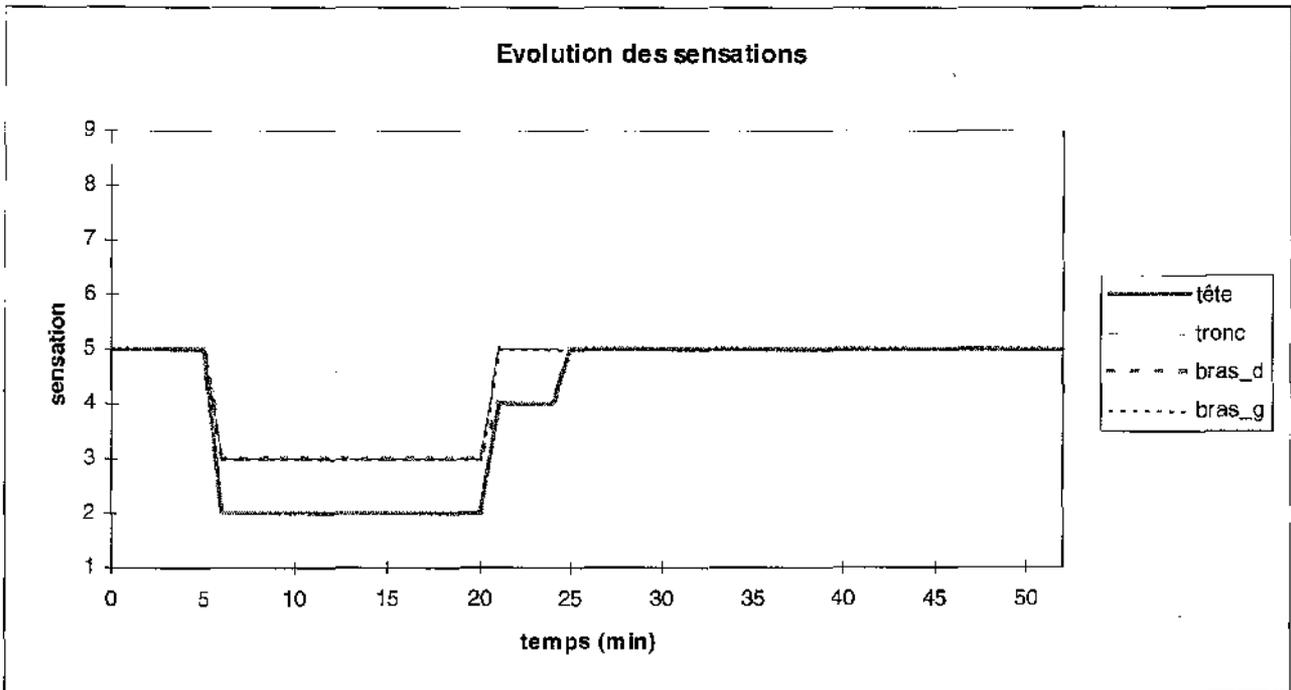
Essai n°20



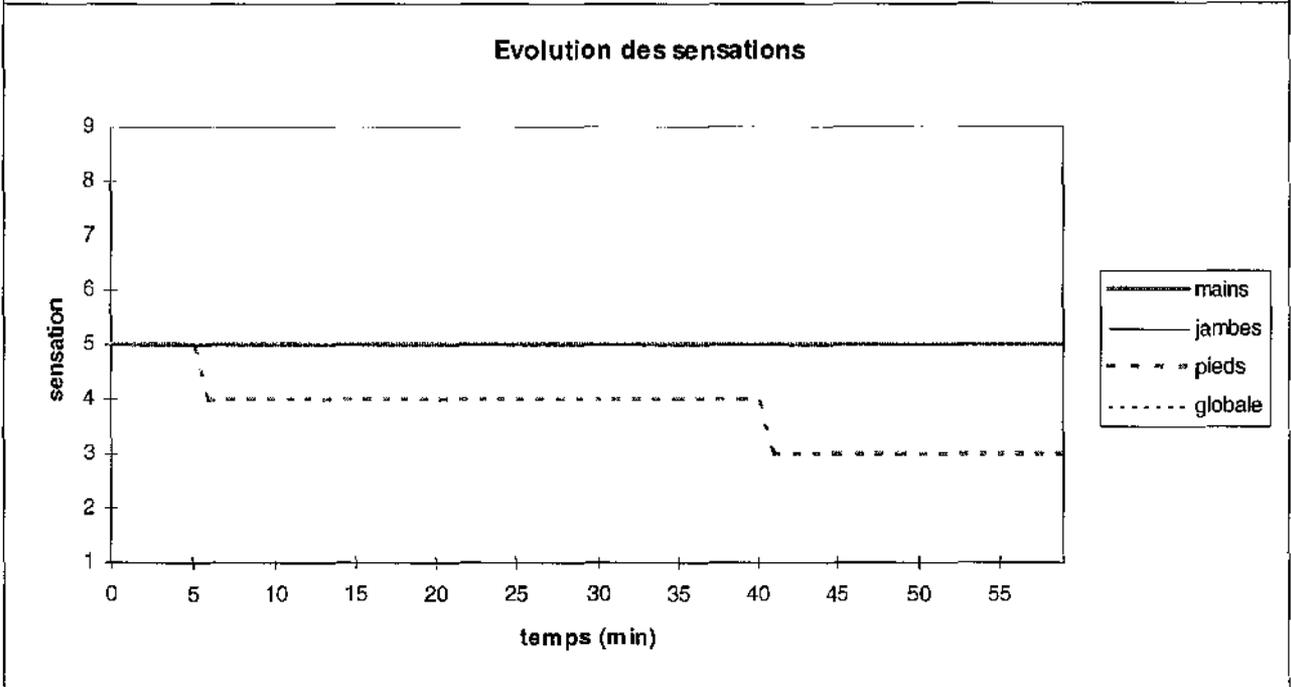
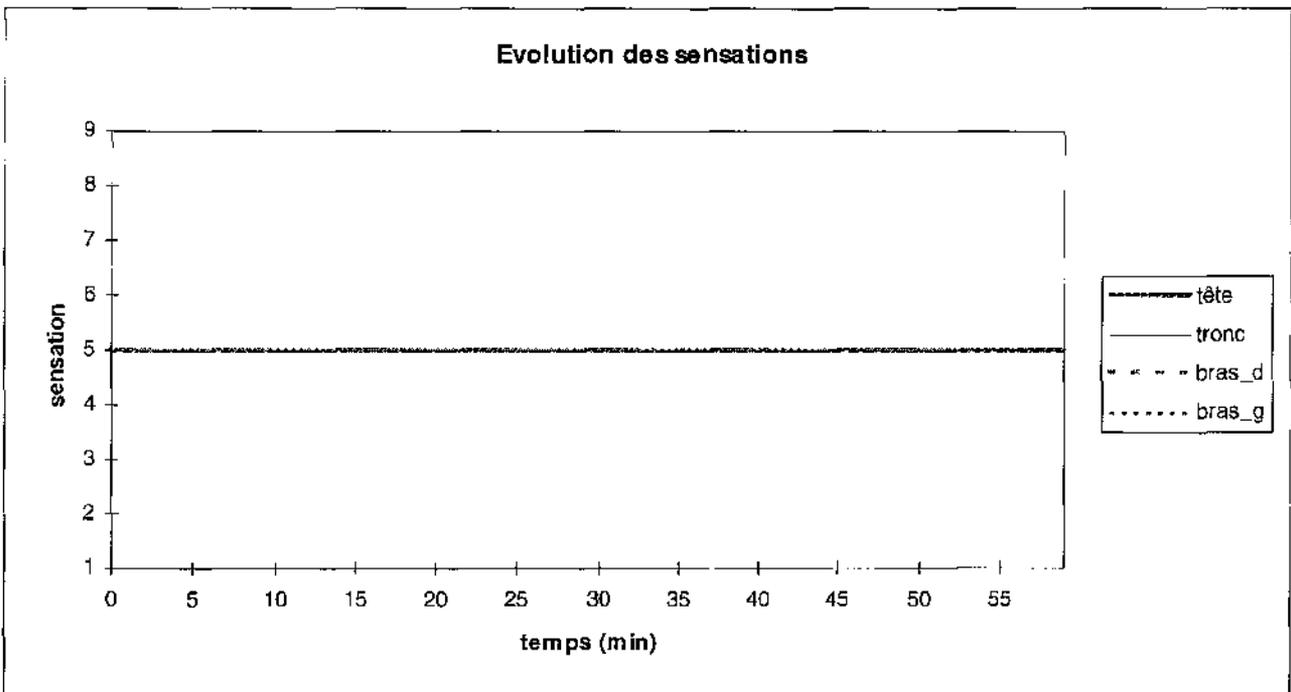
Essai n°21



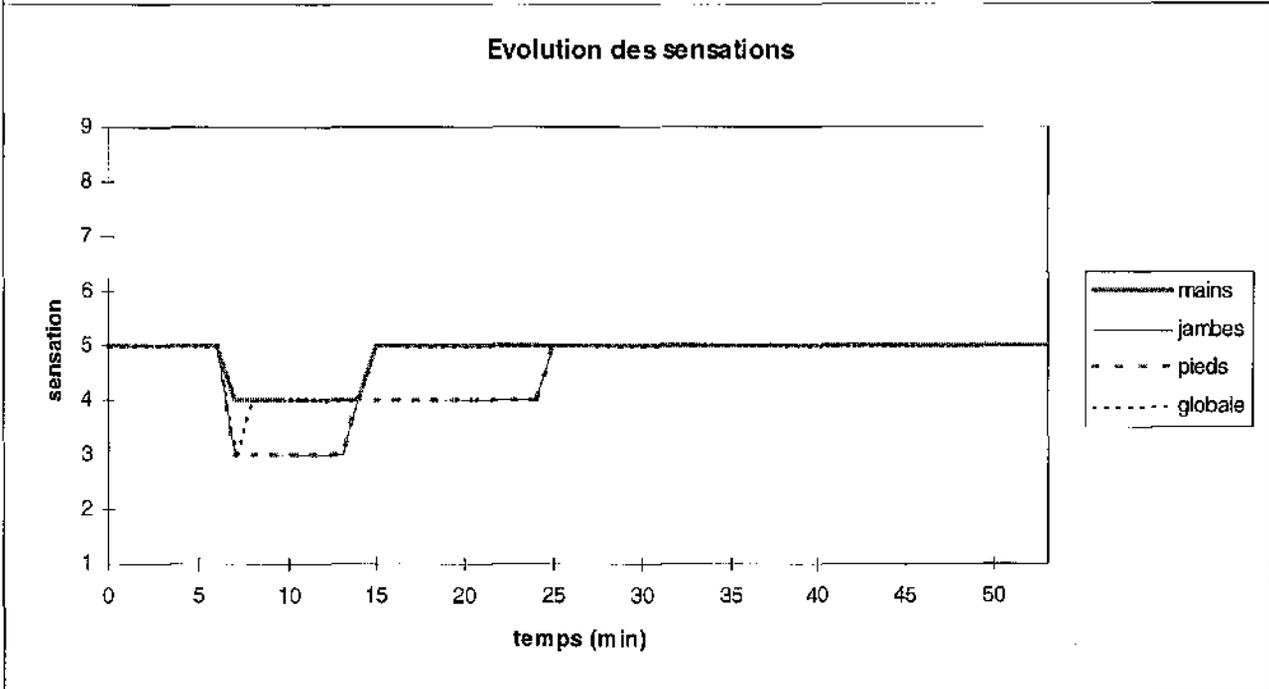
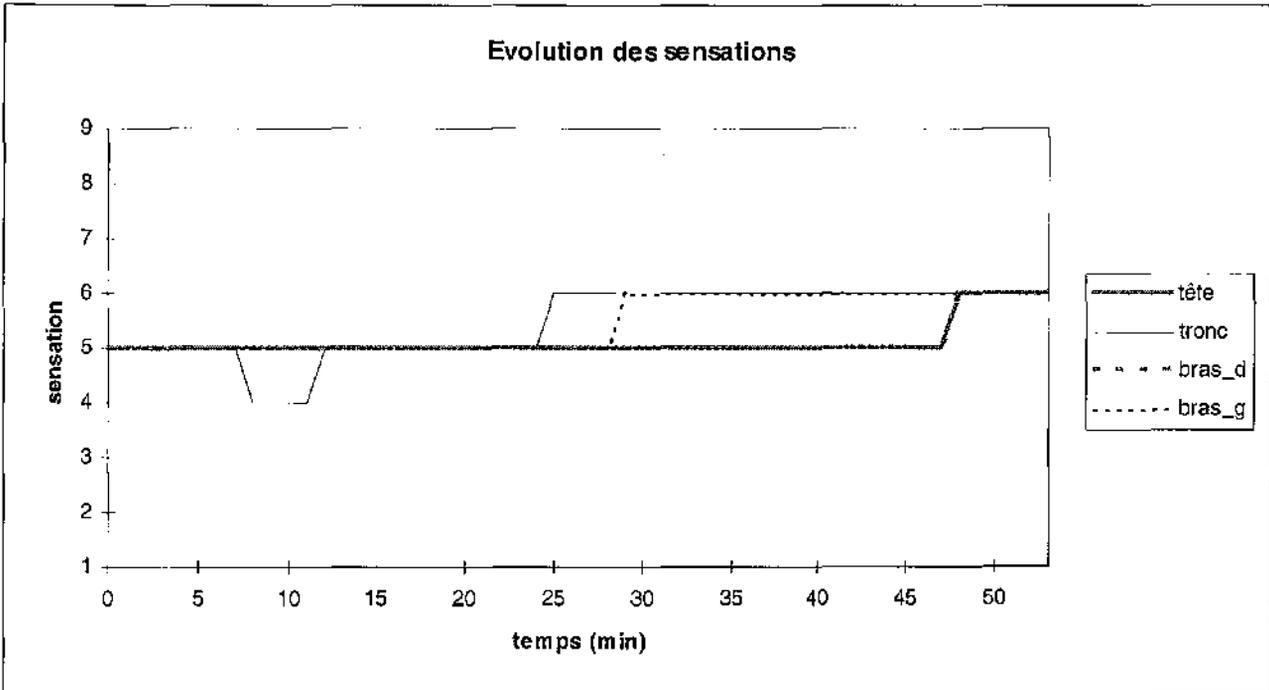
Essai n°22



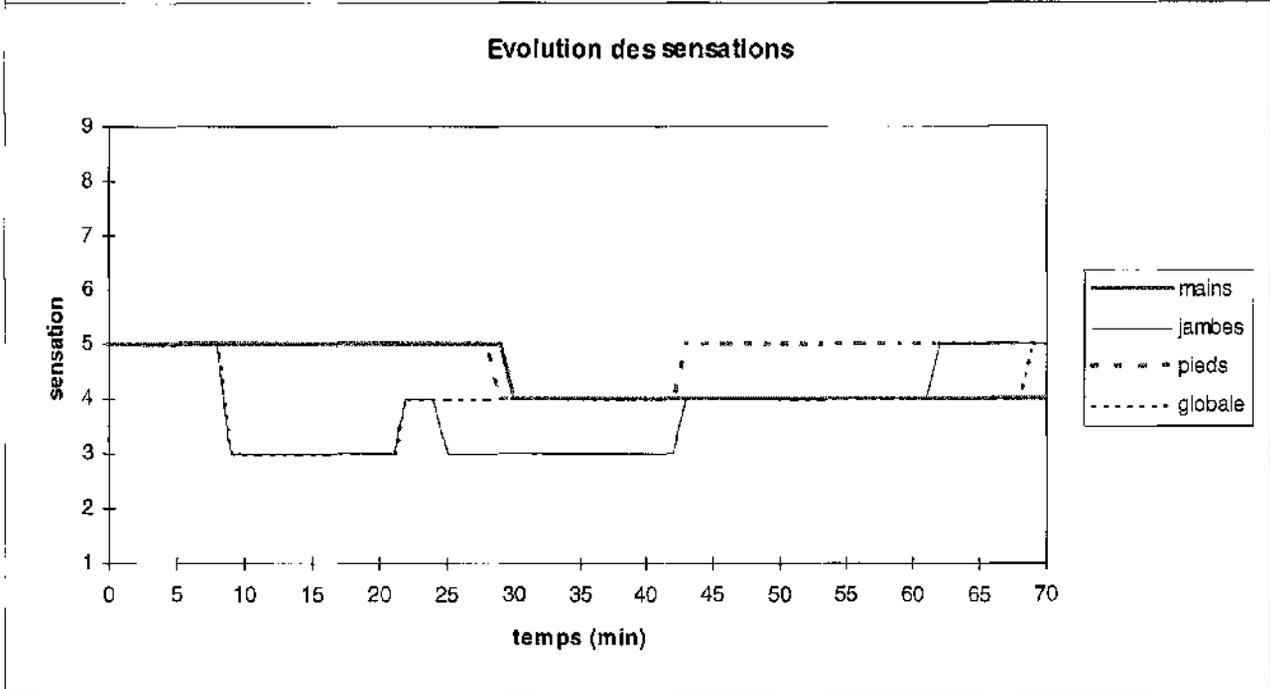
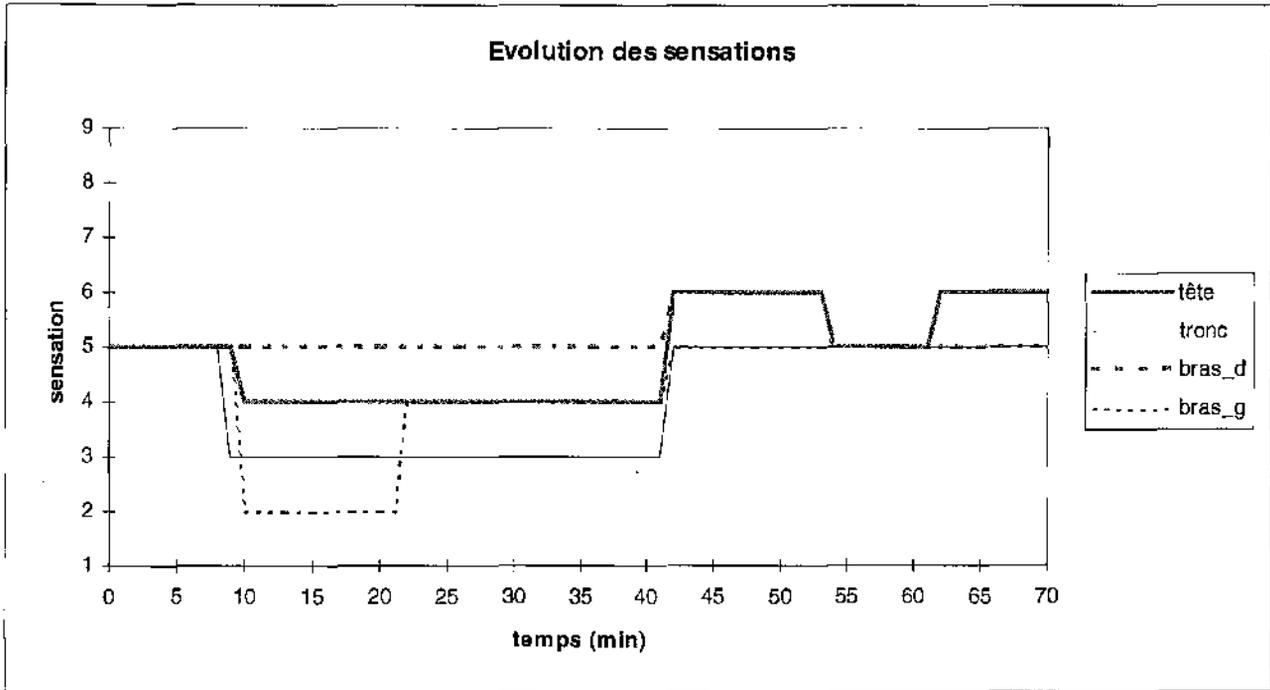
Essai n°23



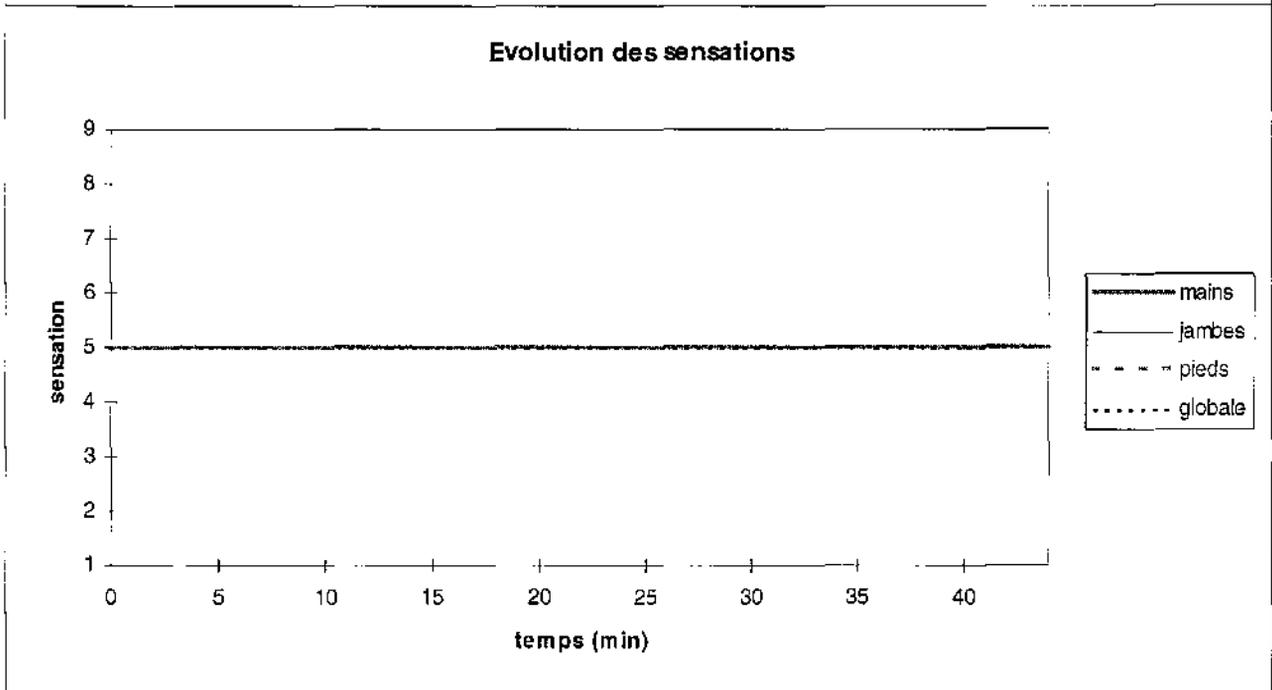
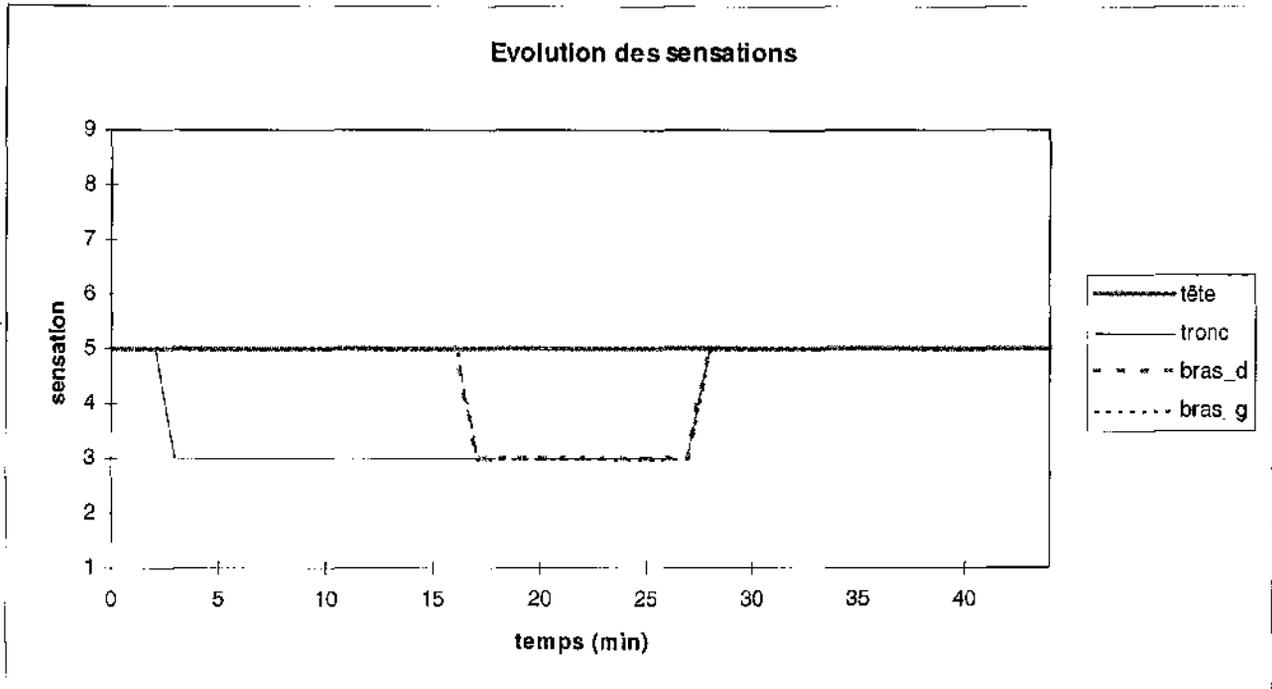
Essai n°24



Essai n°25



Essai n°26



ANNEXE C

**Comparaison entre les résultats de simulation avec TrnSys
version 13.1 (Mac) et avec TrnSys version14.2 (PC)**

Essai ZX n°28

Comparaison entre les températures de peau simulées

Tsk Temps (H)	Tête			Tronc			Bras Droit			Bras Gauche		
	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart
0	34.85	34.83	0.02	33.29	33.48	0.17	32.94	33.01	0.07	32.95	33.02	0.07
0.0667	34.32	34.25	0.07	33.58	33.69	0.00	33.07	33.05	0.04	33.03	33.05	0.02
0.1333	33.93	33.88	0.05	33.58	33.55	0.03	33.09	33.16	0.06	33.09	33.15	0.06
0.2	33.68	33.63	0.03	33.58	33.57	0.01	33.24	33.29	0.05	33.24	33.28	0.04
0.2667	33.51	33.50	0.01	33.60	33.61	0.01	33.41	33.44	0.03	33.40	33.44	0.04
0.3333	33.42	33.42	0.00	33.64	33.66	0.02	33.55	33.59	0.04	33.54	33.58	0.04
0.4	33.34	33.34	0.00	33.70	33.72	0.02	33.69	33.72	0.03	33.68	33.72	0.04
0.4667	33.22	33.32	0.00	33.77	33.79	0.02	33.81	33.84	0.03	33.81	33.83	0.02
0.5333	31.19	31.07	0.12	32.92	32.86	0.06	32.50	32.44	0.06	32.78	32.74	0.04
0.6	30.82	30.80	0.02	32.70	32.70	0.00	32.40	32.43	0.03	32.67	32.70	0.03
0.6667	31.03	31.08	0.05	32.79	32.81	0.02	32.77	32.84	0.07	32.96	33.02	0.06
0.7333	31.51	31.58	0.07	32.99	33.03	0.04	33.32	33.39	0.07	33.39	33.46	0.07
0.8	32.09	32.16	0.07	33.24	33.27	0.03	33.66	33.92	0.26	33.89	33.89	0.00
0.8667	32.67	32.75	0.08	33.57	33.67	0.10	34.35	34.4	0.06	34.23	34.29	0.06
0.9333	33.56	33.66	0.10	34.20	34.26	0.06	34.75	34.79	0.04	34.81	34.64	0.33
1	34.16	34.21	0.05	34.40	34.39	0.01	34.85	34.94	0.09	34.66	34.66	0.00
1.0667	34.28	34.26	0.02	34.26	34.24	0.02	34.73	34.71	0.02	34.57	34.56	0.01
1.1333	34.25	34.26	0.01	34.10	34.09	0.01	34.65	34.85	0.20	34.50	34.51	0.01
1.2	34.38	34.41	0.03	34.09	34.09	0.00	34.70	34.7	0.01	34.53	34.53	0.00
1.2667	34.53	34.54	0.01	34.14	34.15	0.01	34.75	34.76	0.01	34.58	34.53	0.00
1.3333	34.52	34.53	0.01	34.16	34.16	0.00	34.76	34.78	0.02	34.61	34.63	0.02
1.4	34.58	34.55	0.01	34.14	34.13	0.01	34.76	34.75	0.01	34.83	34.62	0.01
1.4667	34.58	34.55	0.03	34.08	34.06	0.02	34.71	34.67	0.04	34.63	34.63	0.00
1.5333	34.30	34.27	0.03	33.92	33.89	0.03	34.55	34.52	0.01	34.45	34.43	0.02
1.6	34.07	34.05	0.02	33.74	33.71	0.03	34.45	34.44	0.01	34.40	34.39	0.01
1.6667	34.26	34.32	0.06	33.69	33.71	0.02	34.58	34.62	0.04	34.39	34.41	0.02
1.7333	34.68	34.72	0.04	33.99	34.04	0.05	34.79	34.80	0.01	34.51	34.62	0.01
1.7833	34.81	34.83	0.02	34.14	34.16	0.02	34.79	34.78	0.01	34.53	34.53	0.00

Tsk Temps (H)	Mains			Jambes			Pieds			Tsk		
	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart
0	32.96	33.26	0.30	33.36	33.45	0.09	32.67	33.07	0.40	33.33	33.47	0.14
0.0667	33.08	33.12	0.04	33.50	33.51	0.01	32.86	33.06	0.20	33.47	33.49	0.02
0.1333	32.69	32.71	0.02	33.49	33.48	0.00	32.56	32.85	0.09	33.41	33.41	0.00
0.2	32.38	32.42	0.03	33.48	33.50	0.02	32.21	32.35	0.14	33.37	33.39	0.02
0.2667	32.17	32.19	0.02	33.49	33.50	0.01	31.95	32.08	0.13	33.36	33.38	0.02
0.3333	31.98	32.00	0.02	33.50	33.52	0.02	31.79	31.85	0.12	33.37	33.40	0.03
0.4	31.83	31.85	0.02	33.54	33.56	0.02	31.65	31.65	0.11	33.40	33.42	0.02
0.4667	31.72	31.73	0.01	33.59	33.61	0.02	31.40	31.50	0.10	33.44	33.46	0.02
0.5333	29.92	29.84	0.08	31.97	31.88	0.09	29.80	29.81	0.01	32.11	32.34	0.07
0.6	29.41	29.41	0.00	31.67	31.69	0.02	29.88	30.00	0.12	31.87	31.89	0.02
0.6667	29.47	29.52	0.05	32.00	32.09	0.09	30.64	30.83	0.19	32.12	32.19	0.07
0.7333	29.81	29.89	0.08	32.70	32.80	0.10	31.66	31.66	0.20	32.60	32.68	0.08
0.8	30.27	30.36	0.09	33.44	33.55	0.11	32.71	32.91	0.20	33.13	33.21	0.08
0.8667	30.84	30.99	0.15	34.19	34.30	0.11	33.84	34.11	0.27	33.69	33.80	0.11
0.9333	32.56	32.82	0.26	34.92	35.00	0.08	35.24	35.47	0.23	34.45	34.59	0.09
1	34.01	34.13	0.12	35.20	35.21	0.01	35.06	35.23	0.17	34.79	34.81	0.02
1.0667	34.59	34.64	0.05	35.21	35.19	0.02	36.40	36.41	0.01	34.79	34.77	0.02
1.1333	34.89	34.93	0.04	35.20	35.21	0.01	36.65	36.59	0.06	34.74	34.75	0.01
1.2	35.19	35.23	0.04	35.38	35.41	0.03	36.94	36.88	0.04	34.85	34.87	0.02
1.2667	35.41	35.44	0.03	35.53	35.57	0.04	37.17	37.09	0.08	34.96	34.97	0.01
1.3333	35.60	35.64	0.04	35.57	35.56	0.01	37.16	37.14	0.02	34.99	34.99	0.00
1.4	35.68	35.68	0.00	35.53	35.52	0.01	37.07	37.01	0.06	34.97	34.98	0.01
1.4667	35.72	35.66	0.06	35.53	35.50	0.03	36.97	36.90	0.07	34.94	34.91	0.03
1.5333	35.37	35.30	0.07	35.33	35.32	0.01	36.82	36.79	0.03	34.75	34.72	0.03
1.6	35.07	35.10	0.03	35.22	35.21	0.01	36.77	36.73	0.04	34.61	34.59	0.02
1.6667	35.31	35.33	0.02	35.46	35.50	0.04	37.41	37.54	0.13	34.74	34.78	0.04
1.7333	35.60	35.62	0.02	35.71	35.70	0.01	37.64	37.63	0.01	35.01	35.03	0.02
1.7833	35.75	35.78	0.01	35.64	35.63	0.01	37.42	37.38	0.04	35.05	35.05	0.00

Comparaison entre les sensations simulées

Sensations Temps (H)	Tête			Tronc			Bras Droit			Bras Gauche		
	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart
0	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0
0.0667	5	5	0	4	4	0	4	4	0	5	5	0
0.1333	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0
0.2	4	4	0	3	4	1	4	4	0	4	4	0
0.2667	4	4	0	4	4	0	5	5	0	5	5	0
0.3333	4	4	0	4	4	0	4	5	1	6	5	0
0.4	4	4	0	4	4	0	4	4	0	5	5	0
0.4667	4	4	0	4	4	0	5	5	0	5	5	0
0.5333	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0.6	1	1	0	1	1	0	2	1	1	1	1	0
0.6667	3	3	0	3	3	0	4	4	0	4	4	0
0.7333	4	5	1	4	5	1	5	5	0	5	5	0
0.8	5	5	0	5	5	0	6	6	0	6	6	0
0.8667	6	6	0	6	6	0	7	7	0	7	7	0
0.9333	7	7	0	7	7	0	8	8	0	8	8	0
1	8	8	0	8	8	0	8	8	0	8	8	0
1.0667	7	7	0	7	7	0	7	8	1	7	7	0
1.1333	8	8	0	8	8	0	6	8	0	8	8	0
1.2	8	8	0	8	8	0	9	9	0	8	9	1
1.2667	9	8	1	8	8	0	9	9	0	9	8	1
1.3333	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.4	9	9	0	8	8	0	9	9	0	9	9	0
1.4667	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.5333	8	8	0	8	8	0	8	8	0	8	8	0
1.6	8	8	0	8	8	0	8	8	0	8	8	0
1.6667	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.7333	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.7633	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0

Sensations Temps (H)	Mains			Jambes			Pieds			Tsk		
	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart
0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	4	4	0
0.0667	5	5	0	5	5	0	5	5	0	4	4	0
0.1333	5	5	0	5	5	0	5	5	0	4	4	0
0.2	4	4	0	4	4	0	5	5	0	4	4	0
0.2667	5	5	0	5	5	0	5	5	0	4	5	1
0.3333	5	5	0	5	5	0	5	5	0	4	4	0
0.4	4	4	0	5	5	0	5	5	0	4	4	0
0.4667	5	5	0	5	5	0	5	5	0	4	4	0
0.5333	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0.6	2	1	1	2	1	1	3	3	0	1	1	0
0.6667	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0
0.7333	5	5	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
0.8	5	5	0	6	6	0	6	6	0	6	6	0
0.8667	6	6	0	7	7	0	7	8	1	7	7	0
0.9333	6	6	0	8	8	0	9	9	0	8	8	0
1	7	7	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.0667	7	7	0	8	8	0	9	9	0	8	8	0
1.1333	8	8	0	8	9	1	9	9	0	8	8	0
1.2	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.2667	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.3333	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.4	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.4667	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.5333	8	8	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.6	8	8	0	9	8	1	9	9	0	8	8	0
1.6667	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.7333	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
1.7633	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0

Essai ZX n°38

Comparaison entre les températures de peau simulées

Tsk Temps (h)	Tête			Tronc			Bras Droit			Bras Gauche		
	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart
0	32,68	32,70	0,02	32,06	32,38	0,32	31,08	31,35	0,27	31,44	31,71	0,27
0,0667	32,72	30,79	0,07	31,62	31,71	0,19	30,32	30,53	0,21	32,89	31,08	0,19
0,1333	30,10	30,16	0,06	31,43	31,57	0,14	30,53	30,70	0,17	31,09	31,23	0,14
0,2	30,07	30,14	0,07	31,54	31,67	0,13	31,20	31,33	0,13	31,84	31,75	0,11
0,2667	30,35	30,41	0,06	31,72	31,83	0,11	31,97	32,06	0,09	32,24	32,31	0,07
0,3333	30,71	30,75	0,04	31,93	32,03	0,10	32,69	32,76	0,07	32,84	32,89	0,05
0,4	31,03	31,06	0,03	32,14	32,23	0,09	33,28	33,33	0,05	33,34	33,37	0,03
0,4667	31,32	31,35	0,03	32,37	32,45	0,08	33,77	33,81	0,04	33,73	33,75	0,02
0,5333	31,51	31,51	0,00	32,61	32,68	0,07	34,07	34,08	0,01	33,99	34,00	0,01
0,6	31,53	31,52	0,01	32,86	32,93	0,07	34,15	34,14	0,01	34,11	34,11	0,00
0,6667	31,75	31,74	0,01	33,32	33,37	0,05	34,16	34,15	0,01	34,14	34,13	0,01
0,7333	31,86	31,85	0,01	33,47	33,50	0,03	34,11	34,09	0,02	34,10	34,09	0,01
0,8	31,82	31,82	0,00	33,51	33,54	0,03	34,05	34,04	0,01	34,05	34,05	0,01
0,8667	31,83	31,82	0,01	33,61	33,64	0,03	34,03	34,04	0,01	34,03	34,01	0,02
0,9333	31,85	31,84	0,01	33,70	33,72	0,02	34,02	34,01	0,01	33,99	33,98	0,01
1	31,88	31,87	0,01	33,78	33,80	0,02	34,00	33,99	0,01	34,00	33,99	0,01
1,0667	31,90	31,90	0,00	33,85	33,86	0,01	33,98	33,97	0,01	33,95	33,94	0,02
1,1333	31,91	31,91	0,00	33,89	33,91	0,02	33,87	33,87	0,00	33,92	33,91	0,01
1,2	31,90	31,89	0,01	33,95	33,96	0,01	33,93	33,93	0,00	33,89	33,87	0,02
1,2667	31,89	31,88	0,01	33,99	34,00	0,01	33,90	33,90	0,00	33,84	33,83	0,01
1,3333	31,89	31,89	0,00	34,04	34,05	0,01	33,93	33,93	0,00	33,82	33,80	0,02
1,4	31,87	31,86	0,01	34,08	34,09	0,01	33,94	33,93	0,01	33,82	33,82	0,00
1,4667	31,86	31,86	0,00	34,11	34,11	0,00	33,93	33,93	0,00	33,80	33,80	0,00
1,4833	31,86	31,85	0,01	34,11	34,12	0,01	33,93	33,93	0,00	33,80	33,80	0,00

Tsk Temps (h)	Mains			Jambes			Pieds			Tsk		
	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart
0	30,90	31,19	0,29	31,45	31,71	0,26	29,58	30,36	0,78	31,59	31,90	0,31
0,0667	29,36	29,57	0,21	30,41	30,63	0,22	28,64	29,17	0,53	30,70	30,91	0,21
0,1333	28,69	28,89	0,20	30,24	30,44	0,20	28,55	29,07	0,52	30,56	30,74	0,18
0,2	28,60	28,79	0,19	30,69	30,85	0,16	29,11	29,57	0,46	30,65	31,01	0,36
0,2667	28,80	28,98	0,18	31,34	31,47	0,13	29,32	30,34	1,02	31,29	31,43	0,14
0,3333	29,14	29,30	0,16	32,06	32,18	0,12	30,83	31,21	0,38	31,79	31,91	0,12
0,4	29,51	29,65	0,14	32,71	32,79	0,08	31,69	32,05	0,36	32,24	32,34	0,10
0,4667	29,90	30,04	0,14	33,33	33,41	0,08	32,54	32,87	0,33	32,68	32,77	0,09
0,5333	30,23	30,32	0,09	33,86	33,91	0,05	33,35	33,66	0,31	33,05	33,13	0,07
0,6	30,43	30,52	0,09	34,18	34,21	0,03	34,02	34,30	0,28	33,32	33,37	0,05
0,6667	31,19	31,23	0,04	34,40	34,41	0,01	34,80	35,03	0,23	33,67	33,70	0,03
0,7333	31,76	31,79	0,03	34,47	34,49	0,02	35,33	35,51	0,18	33,81	33,84	0,03
0,8	32,04	32,08	0,04	34,53	34,54	0,01	35,76	35,89	0,13	33,87	33,90	0,03
0,8667	32,30	32,33	0,03	34,59	34,56	0,03	36,12	36,24	0,12	33,96	33,97	0,01
0,9333	32,48	32,50	0,02	34,57	34,53	0,04	36,43	36,49	0,06	34,02	34,02	0,00
1	32,69	32,71	0,02	34,57	34,56	0,01	36,83	36,65	0,02	34,07	34,08	0,01
1,0667	32,86	32,87	0,01	34,51	34,52	0,01	38,63	36,65	0,02	34,08	34,09	0,01
1,1333	33,00	33,00	0,00	34,47	34,47	0,00	36,59	36,68	0,01	34,09	34,09	0,00
1,2	33,02	33,01	0,01	34,43	34,46	0,03	36,47	36,51	0,04	34,08	34,10	0,02
1,2667	33,02	33,02	0,00	34,39	34,38	0,01	36,44	36,42	0,02	34,08	34,08	0,00
1,3333	33,03	33,02	0,01	34,35	34,34	0,01	36,35	36,33	0,02	34,08	34,07	0,01
1,4	33,06	33,05	0,01	34,32	34,33	0,01	36,26	36,29	0,03	34,08	34,08	0,00
1,4667	33,05	33,05	0,00	34,29	34,32	0,03	36,21	36,20	0,01	34,07	34,08	0,01
1,4833	33,06	33,06	0,00	34,28	34,30	0,02	36,19	36,21	0,02	34,07	34,08	0,01

Comparaison entre les sensations simulées

Sensations Temps (H)	Tête			Tronc			Bras Droit			Bras Gauche		
	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0.0667	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0.1333	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0.2	1	2	1	1	1	0	1	2	1	1	2	1
0.2667	3	3	0	2	2	0	3	4	1	4	4	0
0.3333	4	4	0	4	4	0	4	5	1	5	5	0
0.4	4	4	0	4	4	0	5	5	0	5	5	0
0.4667	5	5	0	5	5	0	6	6	0	5	5	0
0.5333	5	5	0	5	5	0	6	6	0	6	6	0
0.6	5	5	0	5	5	0	6	6	0	6	6	0
0.6667	5	5	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
0.7333	5	5	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
0.8	5	5	0	5	5	0	6	5	1	5	5	0
0.8667	5	5	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
0.9333	6	6	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
1	5	4	1	5	5	0	5	6	0	5	5	0
1.0667	4	4	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
1.1333	4	4	0	5	4	1	5	5	0	5	5	0
1.2	4	4	0	4	4	0	5	5	0	5	5	0
1.2667	4	4	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
1.3333	4	4	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
1.4	4	4	0	4	4	0	5	5	0	5	5	0
1.4667	4	4	0	4	5	1	5	5	0	5	5	0
1.4833	4	4	0	5	4	1	5	6	0	5	5	0

Sensations Temps (H)	Mains			Jambes			Pieds			Tsk		
	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart	Mac	PC	Ecart
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0.0667	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0.1333	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0.2	2	2	0	2	3	1	3	4	1	1	2	1
0.2667	3	4	1	4	4	0	4	4	0	3	3	0
0.3333	4	4	0	5	5	0	5	5	0	4	4	0
0.4	4	4	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
0.4667	5	5	0	6	6	0	6	6	0	5	5	0
0.5333	5	5	0	6	6	0	6	6	0	6	6	0
0.6	5	5	0	6	6	0	6	6	0	5	6	1
0.6667	5	5	0	6	6	0	6	6	0	5	5	0
0.7333	5	5	0	6	6	0	6	6	0	5	5	0
0.8	5	6	0	6	6	0	7	7	0	5	5	0
0.8667	5	5	0	6	6	0	7	7	0	5	5	0
0.9333	5	5	0	6	6	0	7	7	0	5	5	0
1	5	5	0	6	5	1	7	6	1	5	5	0
1.0667	5	5	0	5	5	0	6	6	0	5	5	0
1.1333	5	5	0	5	5	0	6	6	0	5	5	0
1.2	5	5	0	5	6	0	6	6	0	5	5	0
1.2667	5	5	0	5	5	0	6	6	0	5	5	0
1.3333	5	5	0	5	5	0	6	6	0	5	5	0
1.4	5	6	0	5	5	0	6	6	0	5	5	0
1.4667	5	5	0	5	5	0	6	6	0	5	5	0
1.4833	5	5	0	5	5	0	6	6	0	5	5	0

UNIVERSITE PAUL SABATIER



Chauffage d'une voiture électrique

Rapport d'avancement n°3

juillet 1997

CONFIDENTIEL

Laboratoire Etudes des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

Cédric MILVAQUE, Françoise MONCHOUX

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
1. RESULTATS DES PREMIERES SIMULATIONS	3
1.1. Simulations.....	3
1.2. Observations générales	3
1.3. Comparaisons avec les résultats du questionnaire du LAA	4
2. SENSATIONS THERMIQUES	4
2.1. Calcul des sensations.....	4
2.2. Modification arbitraire	5
2.3. Campagne expérimentale	5
2.3.1. Méthodologie	5
2.3.2. Résultats	9
2.4. Nouveau calcul de la sensation.....	11
3. CALCUL DES FLUX THERMIQUES	11
3.1. Sorties supplémentaires	11
3.2. Commentaires sur les premiers résultats	12
3.3. Facteurs de vue	12
4. RESULTATS DES SIMULATIONS	14
4.1. Sensations locales (Annexe A)	14
4.2. Flux thermiques (Annexe B).....	14
4.3. Sensation globale (Annexe C).....	14
CONCLUSION	15
ANNEXES	16

INTRODUCTION

Ce rapport décrit la première phase des simulations numériques. Nous avons, dans un premier temps, simulé 10 expériences pour servir de support lors de la réunion de travail du 6 juin 1997 (6 expériences choisies avec le LAA plus les 4 expériences supplémentaires). Nous avons ensuite simulé l'ensemble des expériences afin d'avoir une vue globale des résultats. Ces simulations ont nécessité l'ajout de sorties supplémentaires au modèle afin de connaître l'évolution des flux locaux.

1. RESULTATS DES PREMIERES SIMULATIONS

Les premières simulations nous ont permis de mettre en parallèle le travail du LAA et du LESETH. Elles nous ont aussi montré les limites d'utilisation de la boîte à sensation, notamment dans sa configuration actuelle.

1.1. Simulations

A partir des mesures de températures et de vitesse d'air relevées pendant l'expérimentation, le modèle MATHER permet d'estimer l'état thermique et la sensation du conducteur.

Les simulations ont toutes été réalisées en insérant une période préalable de mise en équilibre dans les fichiers de données expérimentales. Cette opération a pour but de "donner un passé" au modèle. Pendant cette période de 30 minutes, les températures d'air et de surfaces du véhicule sont maintenues constantes à 24 °C, et les vitesses d'air à 0.05 m/s. Ces valeurs permettent au conducteur d'être en condition de confort sur tous les segments. Cela correspond également à la demi-heure de repos que chaque conducteur subit avant l'essai.

On dispose alors de 5 fichiers de résultats pour chaque simulation (Cf. Annexe D) :

- Sens-XX.txt → 7 sensations locales + sensation globale ;
- Tsk-XX.txt → 7 températures de peau + températures globale (Tsk) ;
- Flux-XX.txt → flux rayonné total + flux convecté total + autres flux ;
- Fconv-XX.txt → 7 flux convectés locaux ;
- Fray-XX.txt → 7 flux rayonnés locaux.

1.2. Observations générales

Nous avons représenté sous forme de graphes le résultat de tous les essais en terme de sensation. Ceci nous permet de comparer ces graphiques avec ceux tracés à partir de la boîte à sensations. On peut remarquer que les résultats des simulations et de la boîte ne sont que rarement en phase. Dans certains cas, il apparaît que le conducteur n'a pas touché à la boîte à sensations. De même, alors qu'il dit être dans une situation d'inconfort thermique (d'après les réponses au questionnaire du LAA), le conducteur ne le retranscrit pas sur la boîte.

La boîte à sensations, du moins dans sa configuration actuelle, n'est pas fiable avec le type d'essai que nous avons mené. Pour les prochaines expériences, il faudra envisager de supprimer en partie ou totalement la boîte à sensations. Il sera quand même intéressant, de continuer à l'utiliser en l'allégeant un peu. Le conducteur a trop de choses à faire en situation de conduite, on ne peut pas lui demander de donner sa sensation sur les sept segments du corps. Il faudrait seulement lui demander d'exprimer la sensation globale plus une ou deux

sensations locales. Il sera aussi important de bien expliquer le fonctionnement de la boîte à chaque conducteur avant l'essai.

1.3. Comparaisons avec les résultats du questionnaire du LAA

La comparaison entre les sensations simulées et la boîte à sensations ayant été assez décevante, il est intéressant de comparer ces mêmes sensations simulées avec le questionnaire du LAA. Les résultats sont obtenus avec deux échelles différentes : échelle en 7 points pour le LAA et en 9 points pour le LESETH (échelle PSA). La comparaison sera donc faite en assimilant la note 5 du modèle à la réponse "ni chaud ni froid" du questionnaire (note 4) et en confondant les points 1 et 2 d'une part, 8 et 9 de l'autre (Cf. Barème ci-dessous).

Echelle PSA-LESETH	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Echelle LAA		1	2	3	4	5	6	7	

Les simulations ont toutes été réalisées en confondant la sensation 1 à la sensation 2 ainsi que la sensation 9 à la sensation 8.

Le questionnaire traduit une évolution de la sensation globale semblable à celle donnée par le modèle numérique. Les conducteurs (hommes, femmes, âges et morphologie) ne sont pas semblables à l'individu représenté par le modèle, mais la sensation calculée évolue dans le même sens que l'expérience.

2. SENSATIONS THERMIQUES

Les premières simulations ont montré une sensation calculée anormalement basse par rapport à celle exprimée par le conducteur.

2.1. Calcul des sensations

Dans MATHER, la relation permettant de calculer la sensation du segment i est la suivante :

$$\text{Sensation}(i) = f(\text{Tm}(i)) \quad (1)$$

$$\text{Tm}(i) = 0.5 \times \text{Tsk}(i) + 0.5 \times \text{Tair}(1) \quad (2)$$

avec :

- $f(\text{Tm}(i))$ fonction non linéaire
- $\text{Tsk}(i)$: température de peau du segment i
- $\text{Tair}(1)$: température de l'air inhalé

La relation (1) a été établie à partir des expériences en soufflerie sur une ZX.. $\text{Tair}(1)$ est alors la température mesurée à proximité du visage. Par contre, la température de l'air inhalé utilisée pour les simulations sur la 106 est en fait la température de l'habitacle, car il n'est pas possible de mettre en place un thermocouple qui risquerait de gêner le conducteur.

Ces deux températures ne sont pas égales, celle à proximité du conducteur étant normalement plus élevée que la température moyenne de l'habitacle.

Nous avons donc modifié la relation permettant de calculer $T_m(i)$.

2.2. Modification arbitraire

Dans un premier temps, la température moyenne $T_{air(1)}$ est calculée à partir de celle de l'habitacle avec une majoration arbitraire de 2°C.

La nouvelle relation est :

$$T_m(i) = 0.5 \times T_{sk}(i) + 0.5 \times (T_{air(1)} + \varepsilon(T_{hab})) \quad (2')$$

$$\text{avec } \varepsilon(T_{hab}) = 2$$

Les simulations effectuées ont alors montré un meilleur accord avec l'expérience.

Toutefois, la relation $\varepsilon(T_{hab})$ qui représente la différence entre la température de l'habitacle et la température de l'air inhalé (mesurée dans les mêmes conditions que dans la ZX) doit être quantifiée plus précisément. C'est ce qui a été réalisé.

2.3. Campagne expérimentale

Une campagne expérimentale a été décidée pour améliorer la connaissance de la relation entre $T_{air(1)}$ et la température de l'habitacle. Elle a eu lieu au cours des journées du 16 et 17 Juillet dans une chambre climatique à Vélizy.

2.3.1. Méthodologie

La 106 instrumentée pour les expériences d'hiver est placée dans une chambre climatique. Un essayeur s'installe au volant. Les thermocouples suivants sont installés (cf. Figure 2.3-a) :

- **1 - T_{hab}** : température de l'habitacle $T_{air(1)}$ → thermocouple avec écran radiatif situé à côté de la sonde de vitesse d'air ;
- **2 - T_{habp}** : température de l'habitacle → thermocouple devant le front de l'essayeur avec écran radiatif ;
- **3 - T_{inh}** : température de l'air inhalé → thermocouple fin avec écran radiatif collé sur le front de l'essayeur (soudure à 1,5 cm de la peau) identique à ceux utilisés pour la ZX ;
- **4 - Front** : température de l'air inhalé → thermocouple sans écran radiatif collé sur le front de l'essayeur (soudure à 1,5 cm de la peau) ;
- **5 - T_{habn}** : température de l'habitacle $T_{air(1)}$ → thermocouple sans écran radiatif situé à côté de la sonde de vitesse d'air ;
- **6 - T_{sk}** : température de la peau → thermocouple collé sur la tempe ;

- 7 - Tsalle : température de la salle climatique → thermocouple situé sur le toit de la voiture ;
- 8 - Frontn : température de l'air inhalé → thermocouple fin sans écran radiatif collé sur le front de l'essayeur (soudure à 1,5 cm de la peau) ;

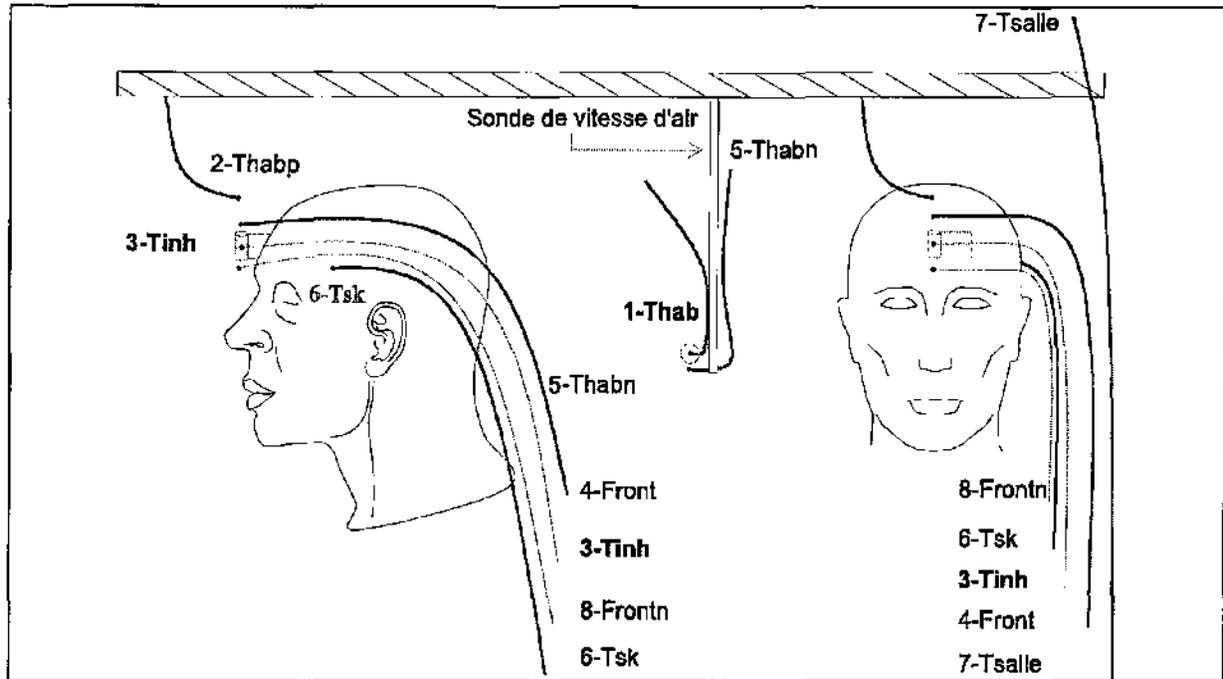


Figure 2.3-a : Emplacement des thermocouples

Les thermocouples utilisés sont tous les mêmes que ceux utilisés lors des expériences de mars 1997 sur la 106 électrique. Seuls les thermocouples fins (Tinh et Frontn) sont des thermocouples fabriqués au LESETH d'un diamètre beaucoup plus fin ($D = 0.1 \text{ mm}$). Ces derniers sont exactement les mêmes que ceux utilisés lors des expériences sur ZX à la base de l'élaboration de MATHER.

Le thermocouple Thab est protégé du rayonnement infrarouge par un écran radiatif (inchangé par rapport aux expériences de mars 1997). Le thermocouple Tinh est lui aussi protégé par un écran radiatif mais celui-ci est différent, il est identique à celui utilisé pour les expériences sur ZX.

Les résultats des mesures de température des thermocouples supplémentaires ne sont pas présentés dans ce rapport, seuls ceux des thermocouples Thab et Tinh sont exploités.

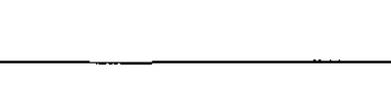
Nous avons utilisé le même matériel (sondes, thermocouples, système d'acquisition ...) que lors des expériences de mars 1997.

La vitesse d'air est mesurée par les sondes installées à demeure ainsi que par la sonde mobile du LESETH.

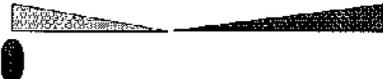
Les tableaux suivants décrivent les différentes phases des expériences réalisées :

Remarque :

Pendant tous les essais, la chambre climatique est maintenue à la température de 0°C .

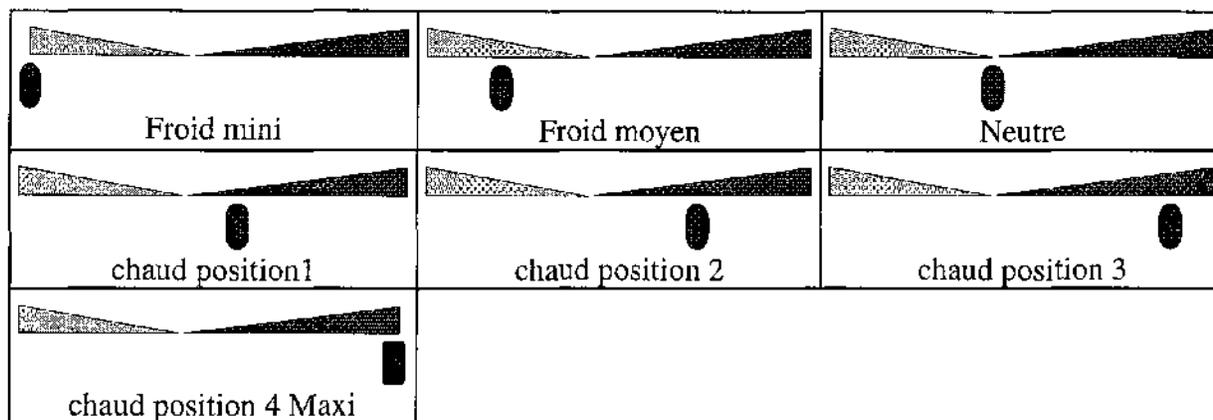
Essai n°1			
Commentaires	Pulseur	Position du chauffage	Temps
Début : 8h30 Thabitacle = 7°C Acquisition : 2/min Montée en température Fin : 9h15 Thabitacle = 33°C	Position 1 (Soufflage mini)		0 min
			8 min
			10 min
			21 min
			25 min
			35 min
			Fin 45 min

Essai n°2			
Commentaires	Pulseur	Position du chauffage	Temps
Début : 9h26 Thabitacle = 32,8°C Acquisition : 2/min Descente en température	Position 1 (Soufflage mini)		0 min
			14 min
			20 min
Fin : 10h26 Thabitacle = 10,1°C			Fin 45 min

Essai n°3			
Commentaires	Pulseur	Position du chauffage	Temps
Début : 13h42 Thabitacle = 3,9°C	Position 3 (Soufflage Maxi)		0 min
Acquisition : 2/min			9 min
Montée en température			18 min
			23 min
			27 min
		Fin : 14h09 Thabitacle = 30°C	

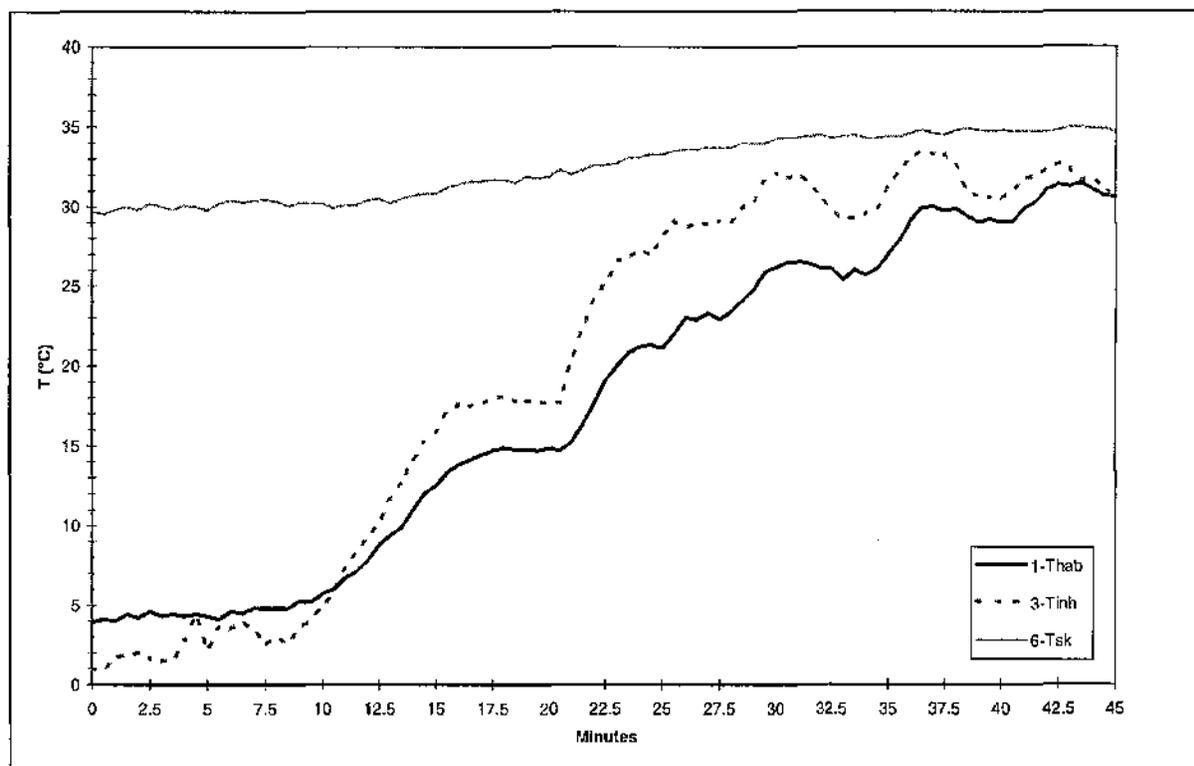
Essai n°4			
Commentaires	Pulseur	Position du chauffage	Temps
Début : 14h18 Thabitacle = 33°C	Position 3 (Soufflage Maxi)		0 min
Acquisition : 2/min			8 min
Descente en température			14 min
			22 min
		Fin : 14h58 Thabitacle = 8°C	

Position du chauffage

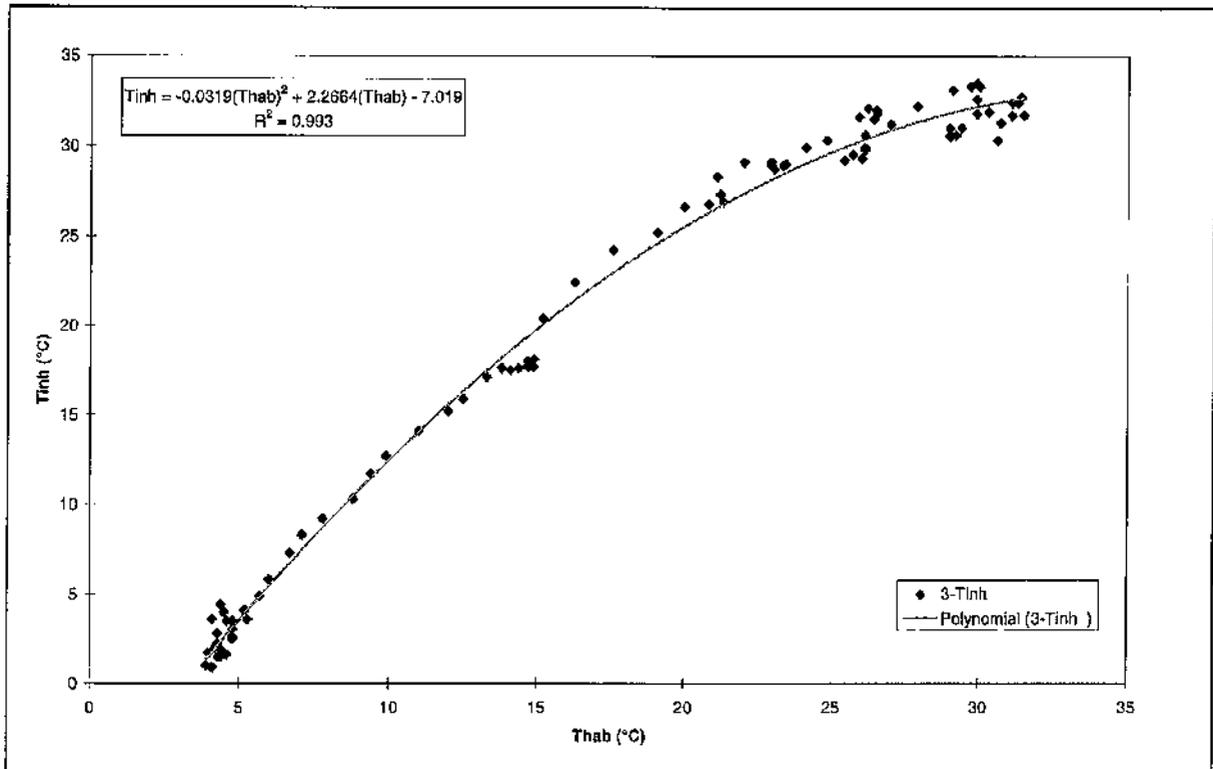


2.3.2. Résultats

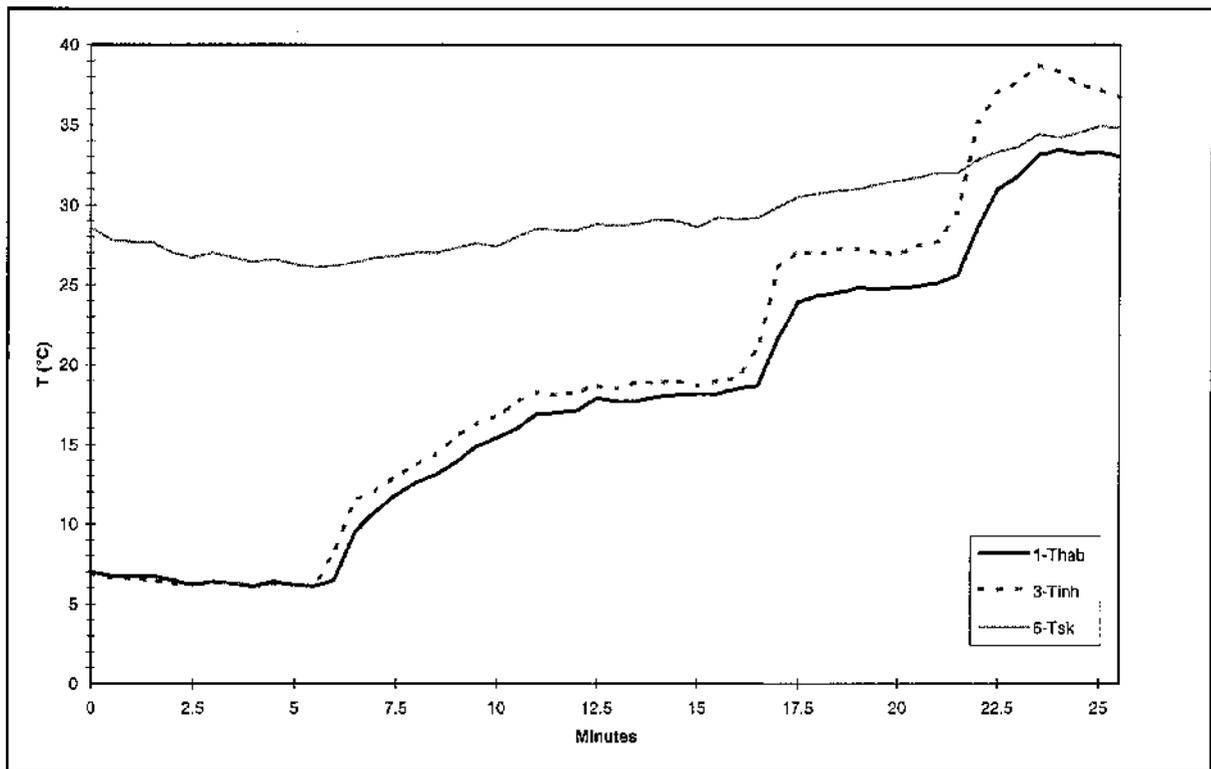
Les courbes suivantes décrivent l'évolution de $T_{air}(1)$ en fonction de la température de l'habitable (Graphe 2.3-a et Graphe 2.3-c) pendant la montée en température pour les deux positions du pulseur ainsi que l'évolution de ces mêmes températures au cours des expériences (Graphe 2.3-b et Graphe 2.3-d).



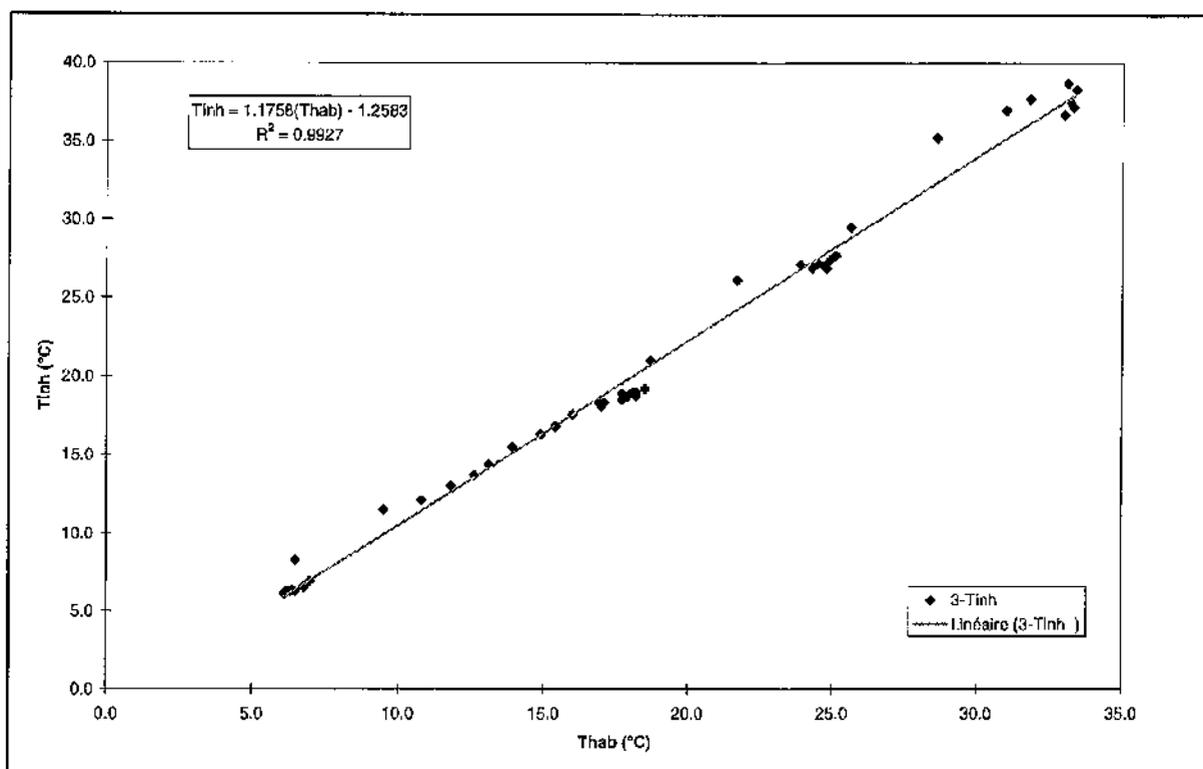
Graphe 2.3-a : Evolution des températures avec soufflage à 1



Graph 2.3-b : Température de l'air inhalé en fonction de $Thab$ ($T_{air}(1)$) soufflage à 1



Graph 2.3-c : Evolution des températures avec soufflage à 3



Graph 2.3-d : Température de l'air inhalé en fonction de Thab (Tair(1)) soufflage à 3

2.4. Nouveau calcul de la sensation

L'analyse des résultats de la campagne expérimentale a donc permis d'établir les relations suivantes :

- vitesse d'air faible ($V_{air} < 1\text{m/s}$)

$$\begin{aligned} T_{inh} &= 1.1758 \times T_{air(1)} - 1.2583 \\ T_m(i) &= 0.5 \times T_{sk(i)} + 0.5 \times T_{inh} \end{aligned}$$

- vitesse d'air élevée ($V_{air} > 1\text{m/s}$)

$$\begin{aligned} T_{inh} &= -0.0319 \times T_{air(1)}^2 + 2.2664 \times T_{air(1)} - 7.019 \\ T_m(i) &= 0.5 \times T_{sk(i)} + 0.5 \times T_{inh} \end{aligned}$$

3. CALCUL DES FLUX THERMIQUES

3.1. Sorties supplémentaires

A la suite des discussions avec PSA et le LAA, il apparaît nécessaire de connaître, en plus des sensations, les flux locaux sur les sept segments du modèle. Nous avons donc modifié le programme en conséquence.

Le modèle dans la version antérieure permettait **uniquement** de connaître les flux totaux (flux convecté total et flux rayonné total). Nous avons modifié le programme afin de connaître les résultats locaux, c'est-à-dire les flux sur chaque segment du conducteur.

3.2. Commentaires sur les premiers résultats

Les premières simulations ont fait apparaître des résultats illogiques pour les flux rayonnés locaux, notamment en ce qui concerne le bras gauche du conducteur, exposé à l'ambiance froide causée par la vitre de portière. Les calculs ont montré également une sensibilité du modèle à la valeur des facteurs de vue. En conséquence, une révision du calcul des flux rayonnés a été effectuée.

3.3. Facteurs de vue

Cette révision a exigé un retour sur le logiciel de DAO Optima qui a eu lieu le 16 Juillet. Ce travail a montré que les normales de certaines surfaces de la vitre arrière avaient été mal orientées. Rectification a été faite. Le calcul des facteurs de vue montre une amélioration notable. On montre sur les tableaux suivants (Tableau 3.3-a et Tableau 3.3-b) la somme sur j des F_{ij} pour chaque groupe de surfaces. Cette somme doit être égale à 1 pour satisfaire au critère de fermeture. On remarque que la variation de la somme des F_{ij} est très sensible sur les groupes 10 et 14 qui représentent respectivement la partie arrière du véhicule et les vitres (hors pare-brise).

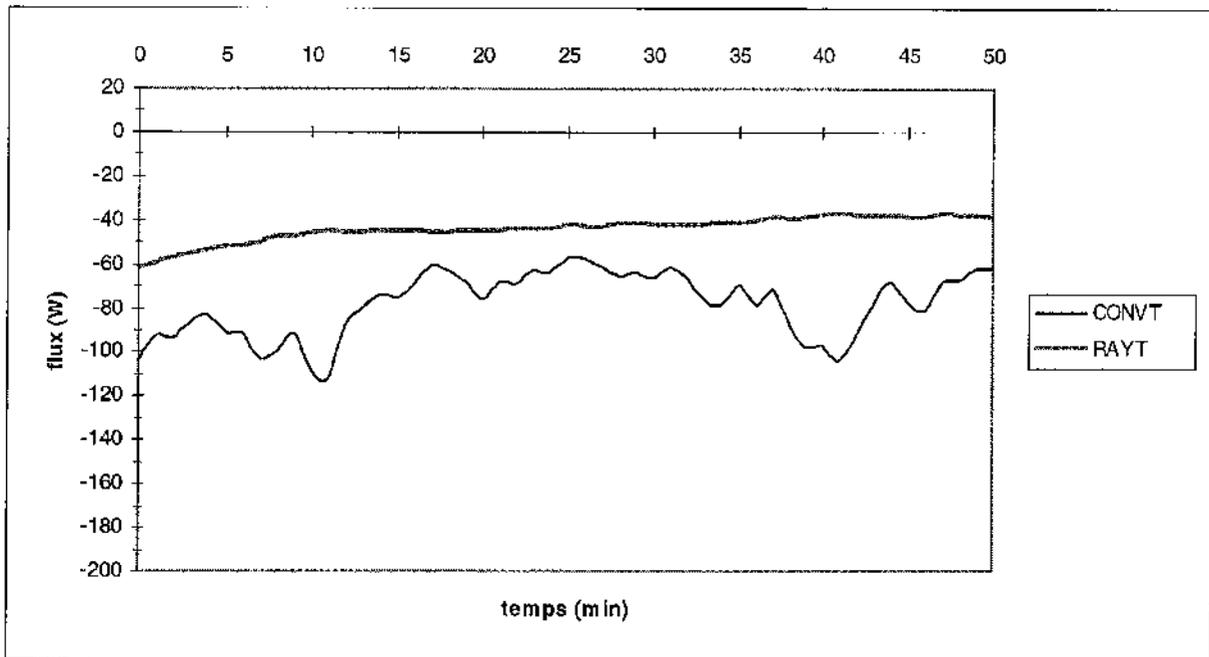
Tableau 3.3-a : Résultats avant modifications

1	0.968021	2	1.007668	3	1.047463	4	1.032230
5	1.020635	6	0.996803	7	0.968290	8	0.999471
9	0.960472	10	0.899852	11	0.968357	12	0.967892
13	1.006212	14	0.856386	15	0.992895	16	0.967892

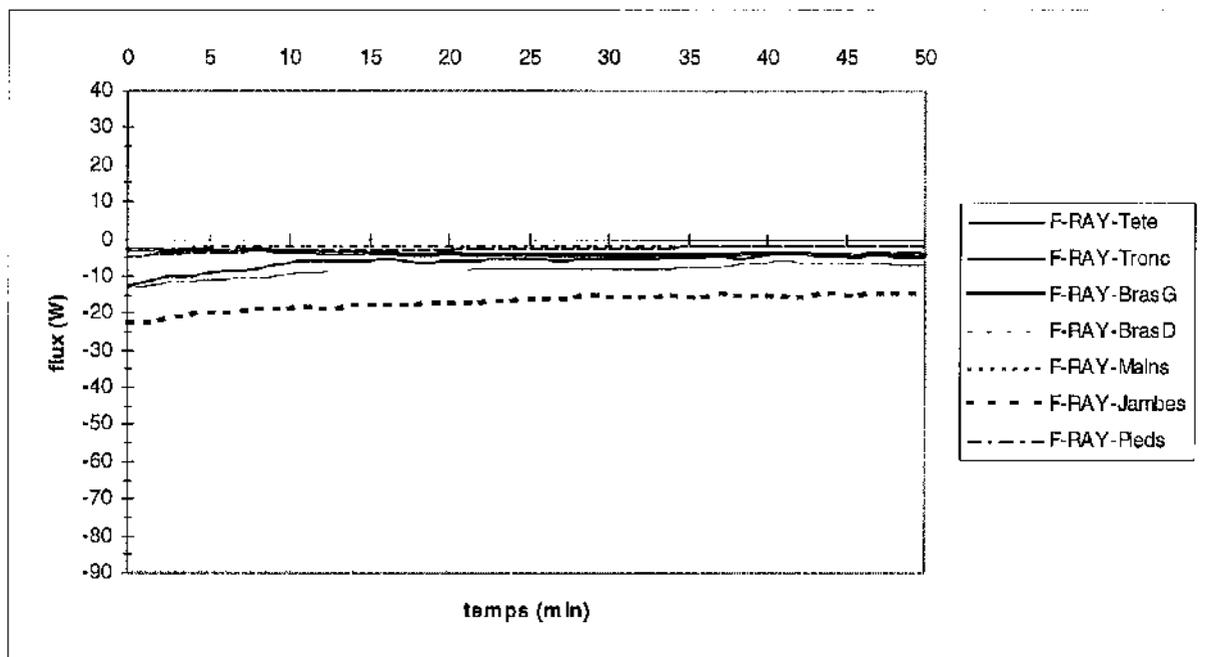
Tableau 3.3-b : Résultats après modifications

1	1.002776	2	1.007514	3	1.002978	4	0.995043
5	0.999937	6	0.999559	7	0.974769	8	1.005421
9	0.959541	10	0.940523	11	0.998057	12	0.996103
13	1.007507	14	1.000557	15	0.997366	16	0.998575

On représente aussi ci-dessous un exemple d'évolution des flux totaux simulés (Graphe 3.3-a) et des flux locaux rayonnés (Graphe 3.3-b) après modifications.



Graphe 3.3-a : flux totaux (Essai N°4)



Graphe 3.3-b : flux rayonnés locaux (Essai N°4)

Remarque :

On notera que ce retour à la DAO a permis également d'effectuer un regroupement nouveau des surfaces, prévu pour tester le nouveau mode de chauffage. Ce découpage sera décrit dans rapport ultérieur.

4. RESULTATS DES SIMULATIONS

Les courbes de résultats sont présentées dans les annexes A, B et C.

4.1. Sensations locales (Annexe A)

Les courbes décrivent l'évolution des sensations locales de toutes les expériences d'hiver. Elles sont représentées avec l'échelle PSA (de 1 à 9). On remarquera que les sensations ne sont jamais inférieures à 2 ni supérieures à 8 car, pour comparer les résultats des simulations avec ceux du LAA, nous avons regroupé les extrêmes (cf. chapitre 1.3).

4.2. Flux thermiques (Annexe B)

Les flux rayonnés restent pratiquement constants pendant toute l'expérience, ce qui traduit que les températures des surfaces évoluent peu. Les flux convectifs sont très élevés en début d'expérience (air froid) et tendent ensuite vers une valeur voisine des flux rayonnés.

4.3. Sensation globale (Annexe C)

On fait ici la comparaison de la sensation globale calculée par MATIER avec les résultats d'expérience convertis dans l'échelle PSA. On représente sur le même graphe la sensation globale simulée, la sensation globale relevée par la boîte à sensations ainsi que les points représentant la sensation globale exprimée par les conducteurs à la fin des 4 questionnaires posés par le LAA.

CONCLUSION

Des modifications ont été apportés au modèle, le calcul des sensations ainsi que le calcul des échanges radiatifs sont maintenant bien adaptés à la présente étude. Nous pouvons donc passer à l'étape suivante qui consiste, à partir des discussions entre PSA, le LAA et le LESETH, à simuler les différentes options de chauffage proposées (orientés radiatifs). Dans un premier temps, les simulations serviront à valider ces options puis, à les optimiser en vue de réaliser un prototype qui servira de support à une nouvelle campagne expérimentale l'hiver prochain.

ANNEXES

Annexe A : Sensations simulées pour tous les essais

Annexe B : Flux simulés pour tous les essais

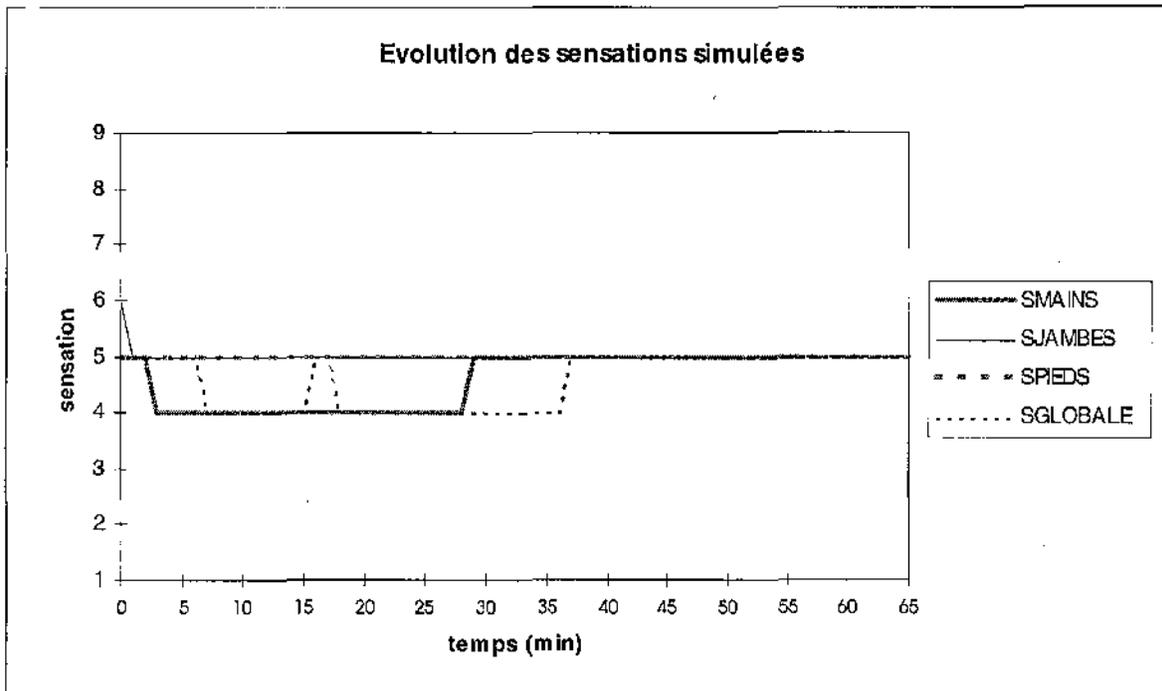
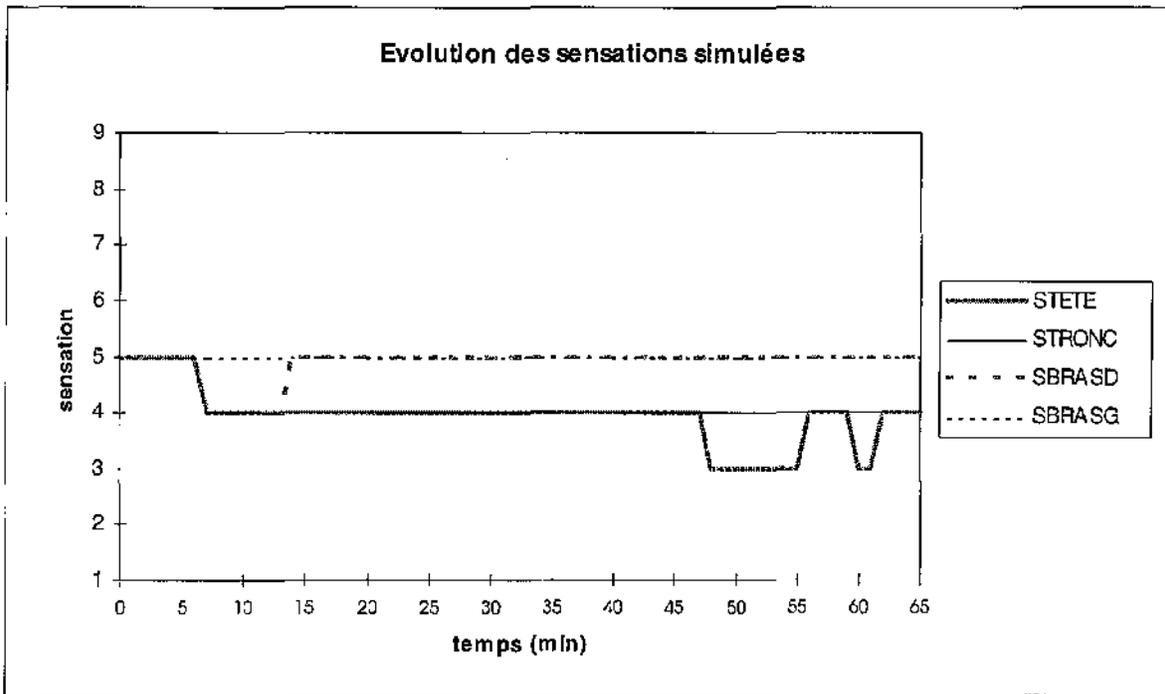
Annexe C : Sensation globale, MATHER et LAA

Annexe C : Fichiers résultants des simulations (exemple)

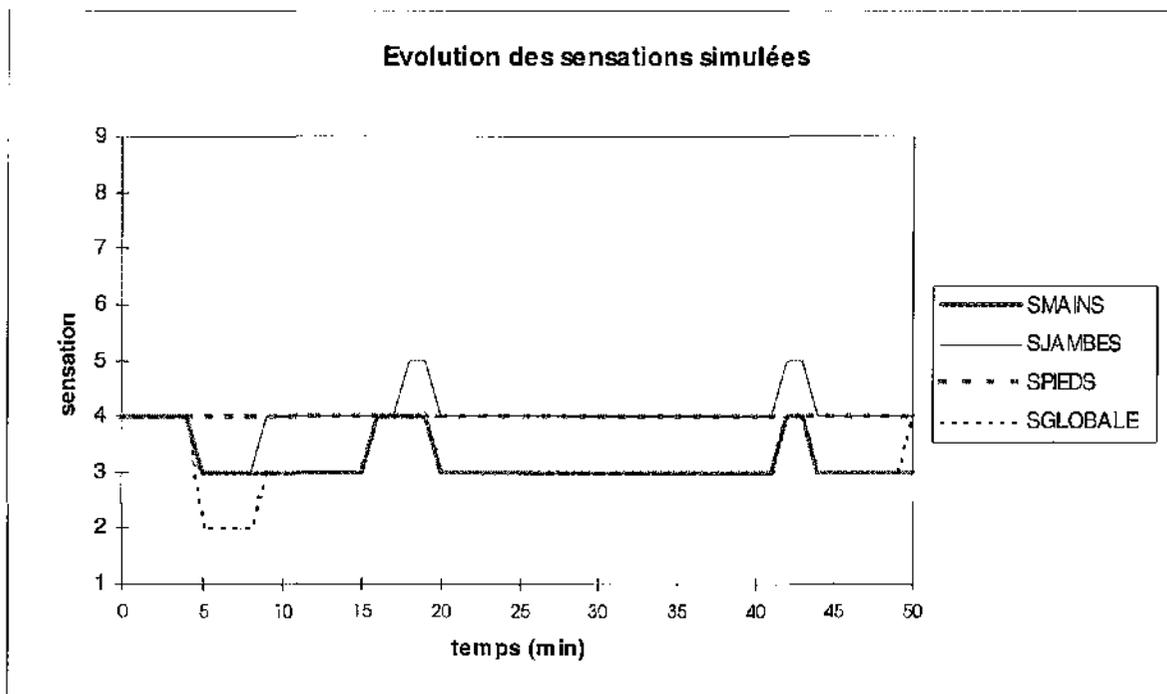
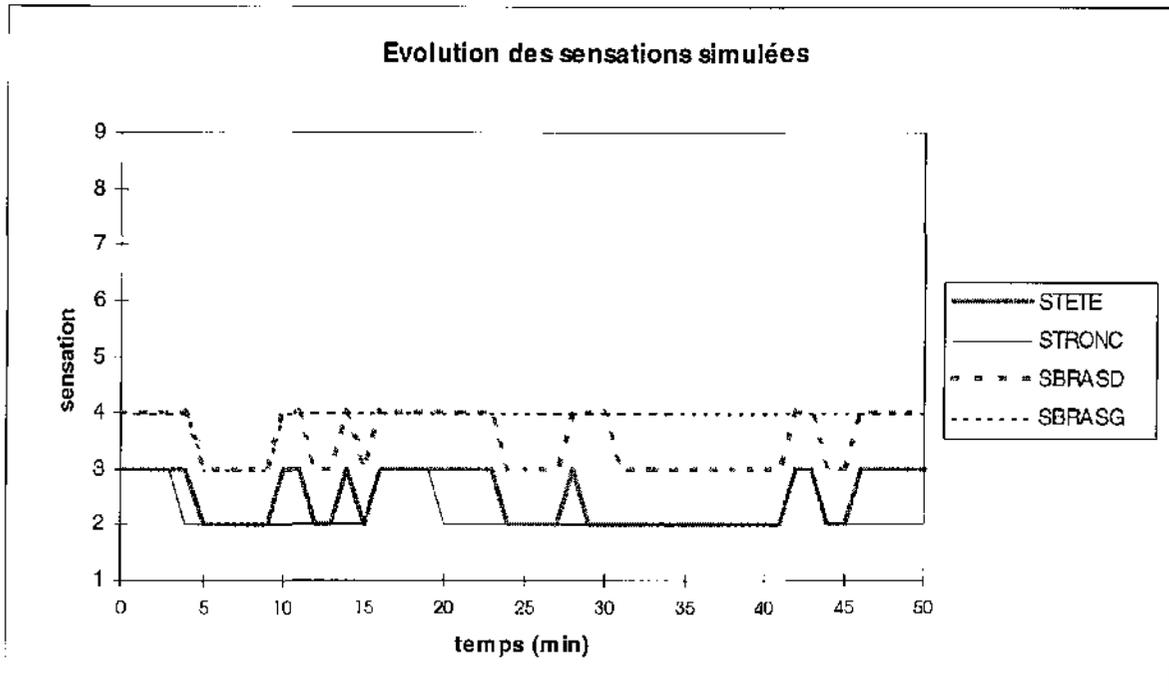
ANNEXE A

Sensations simulées pour tous les essais

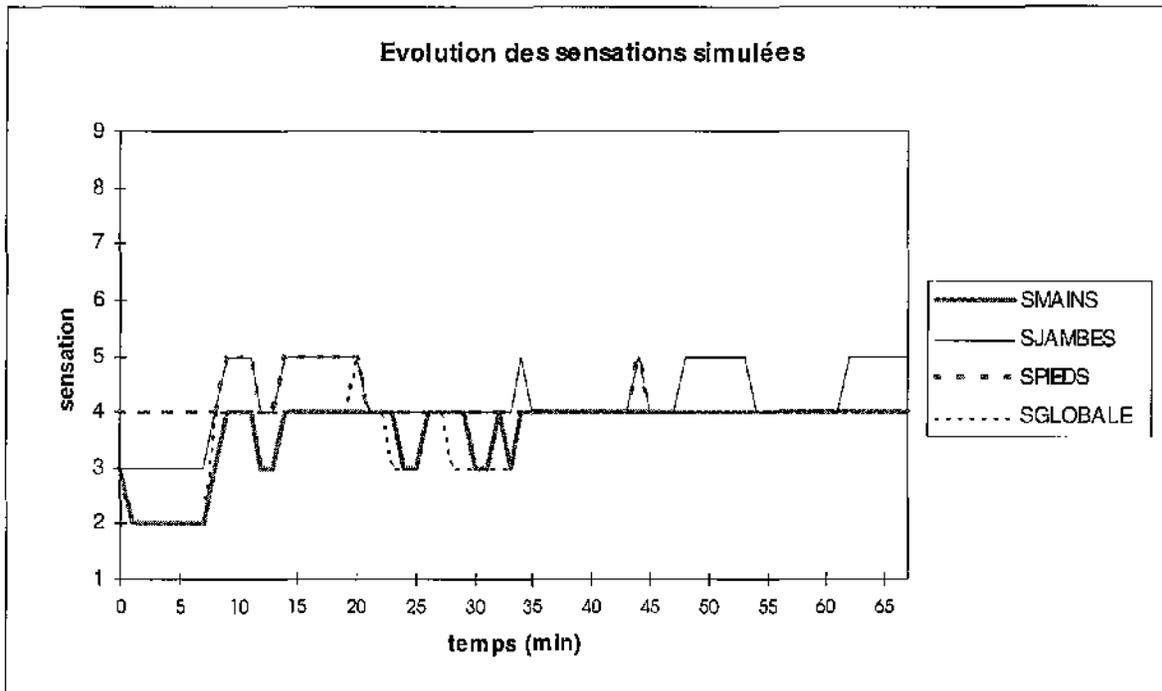
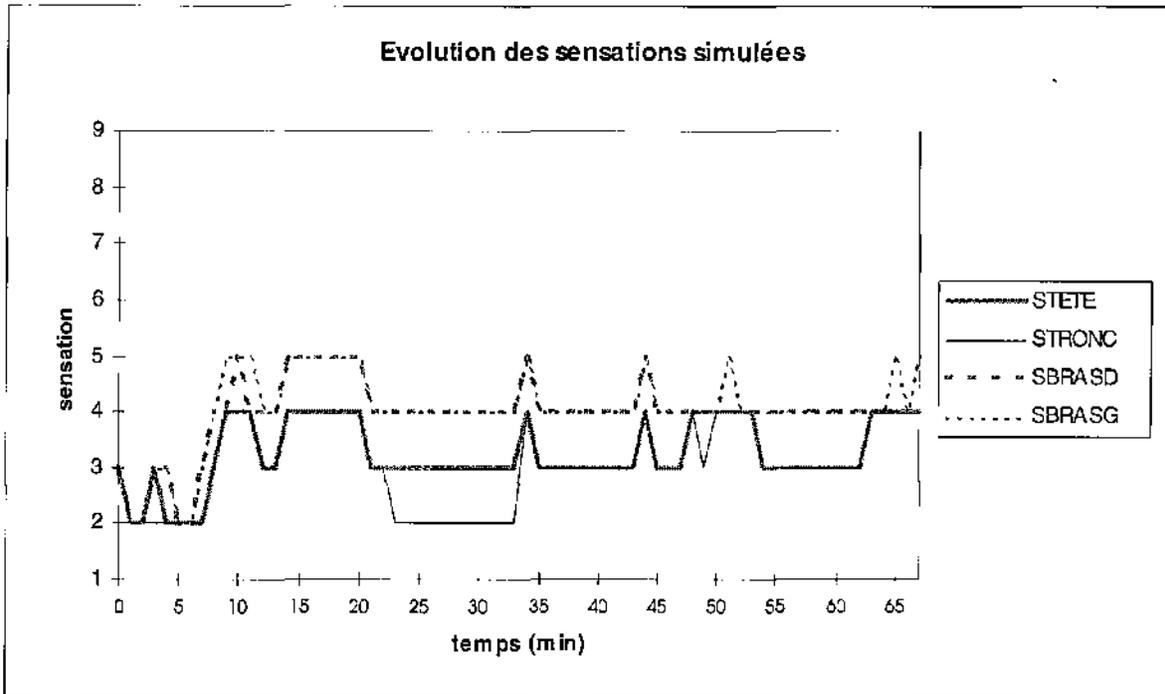
Essai n°1



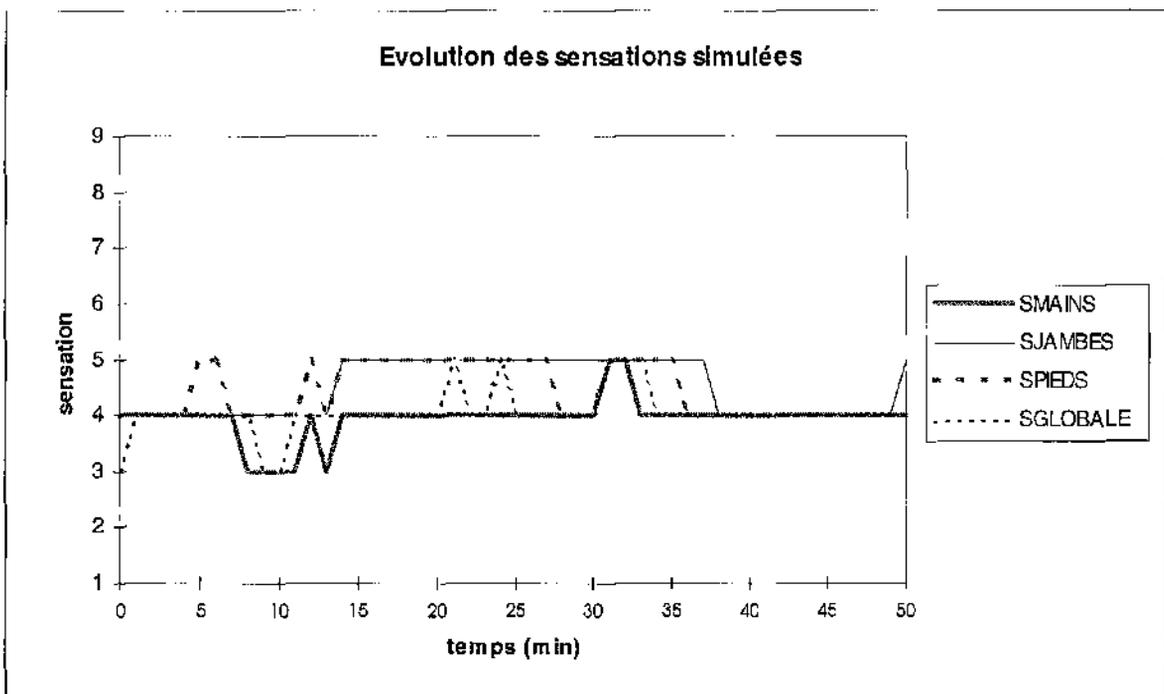
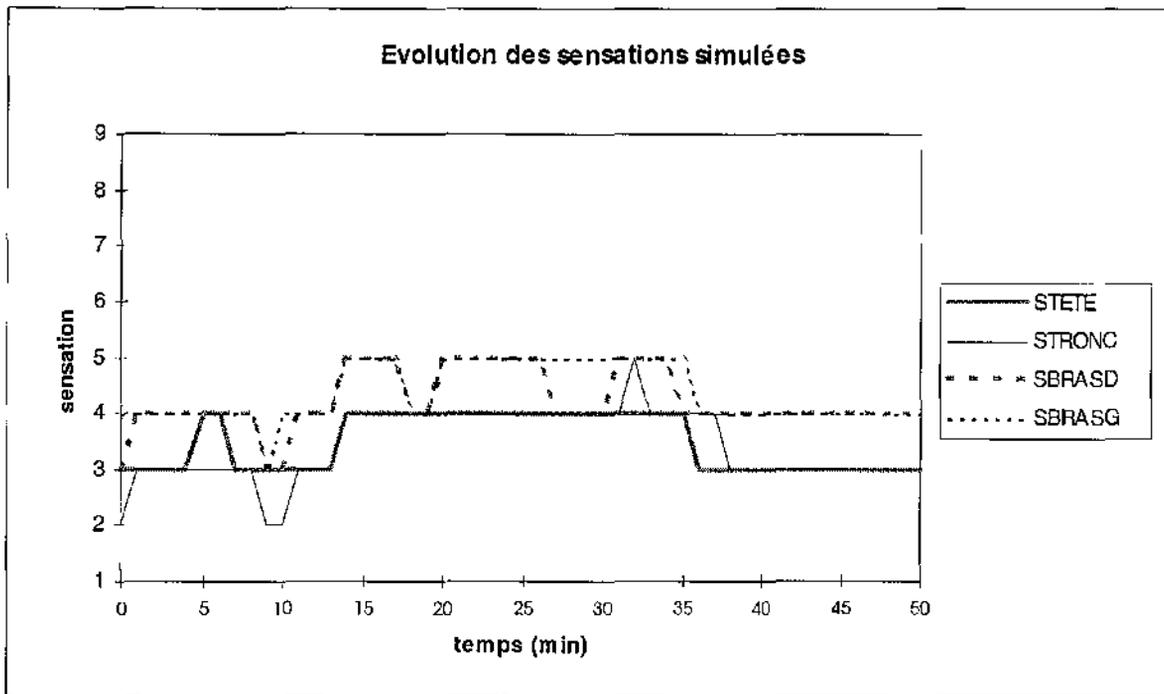
Essai n°2



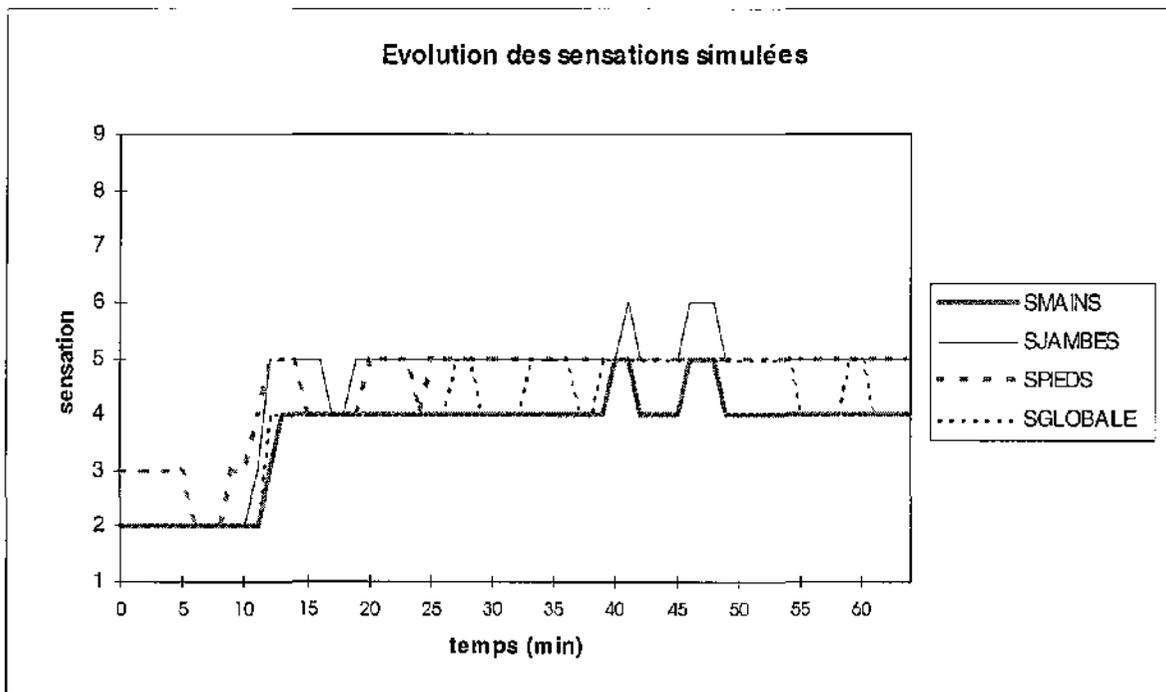
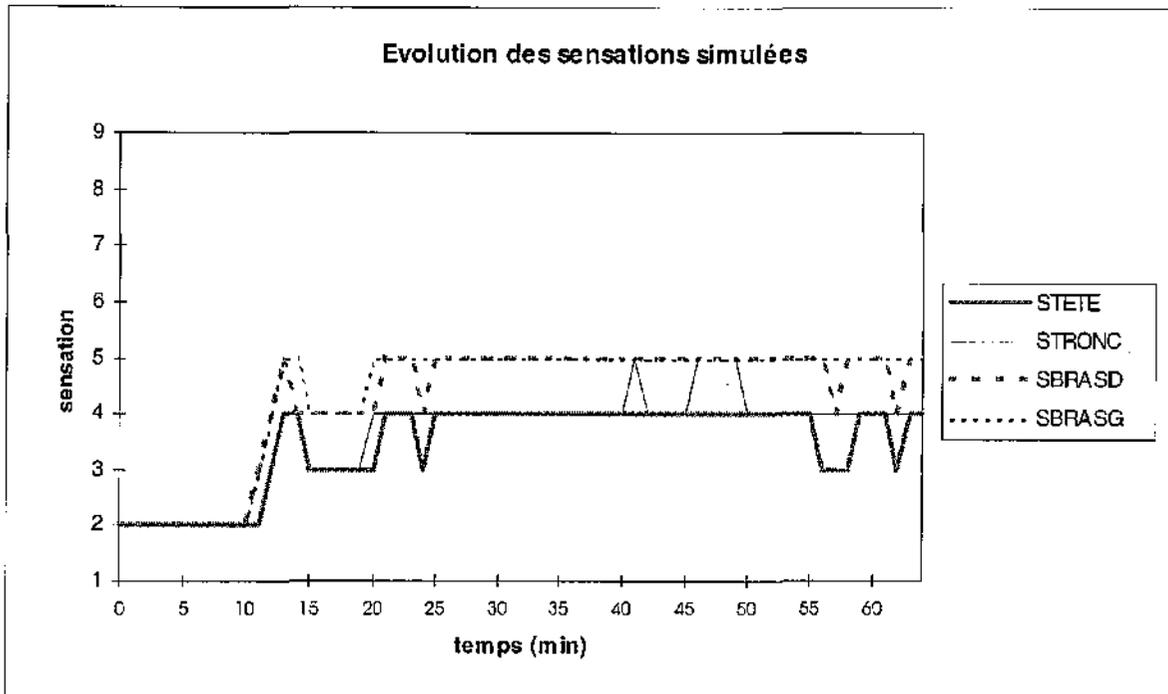
Essai n°3



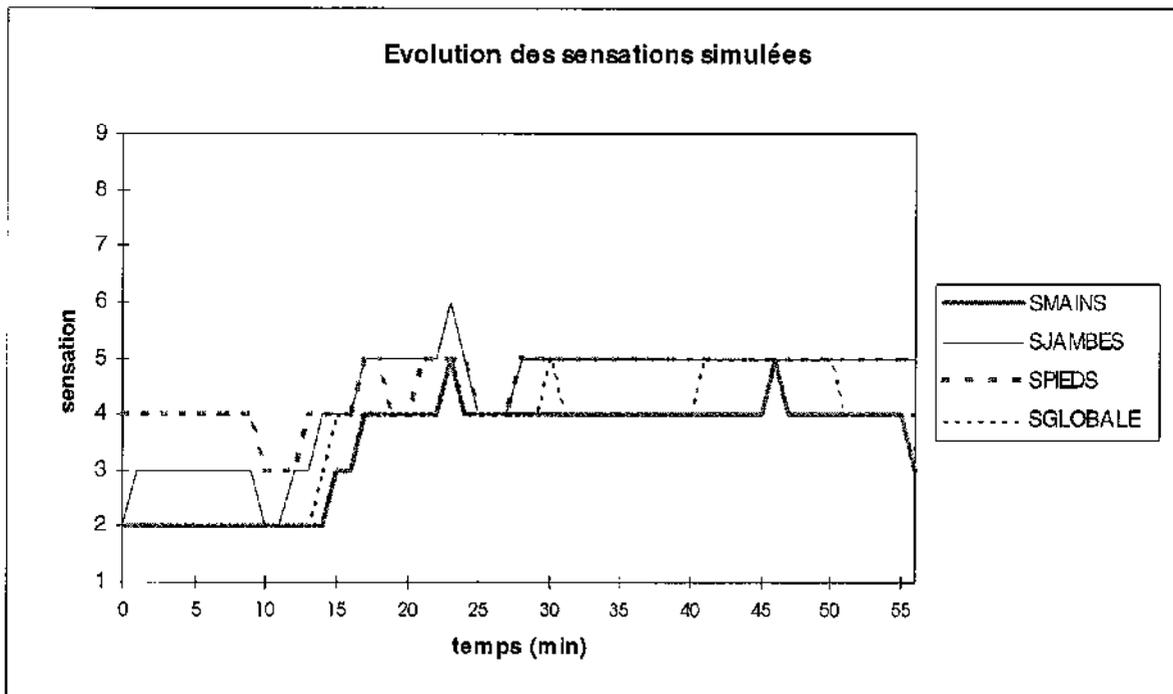
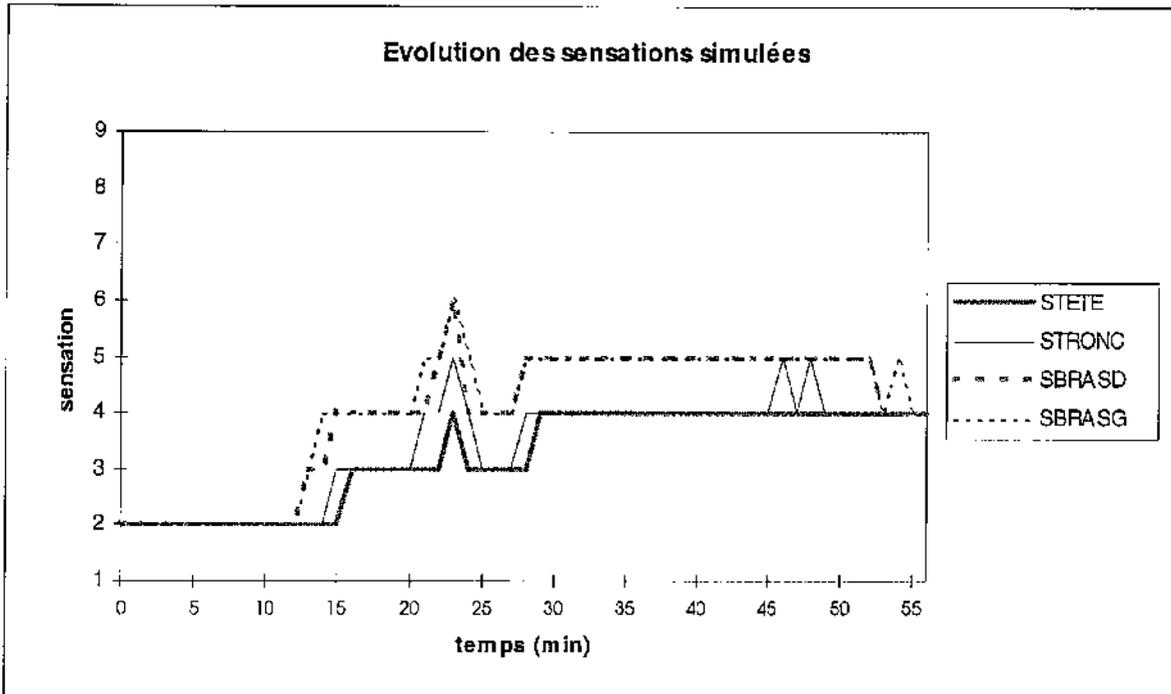
Essai n°4



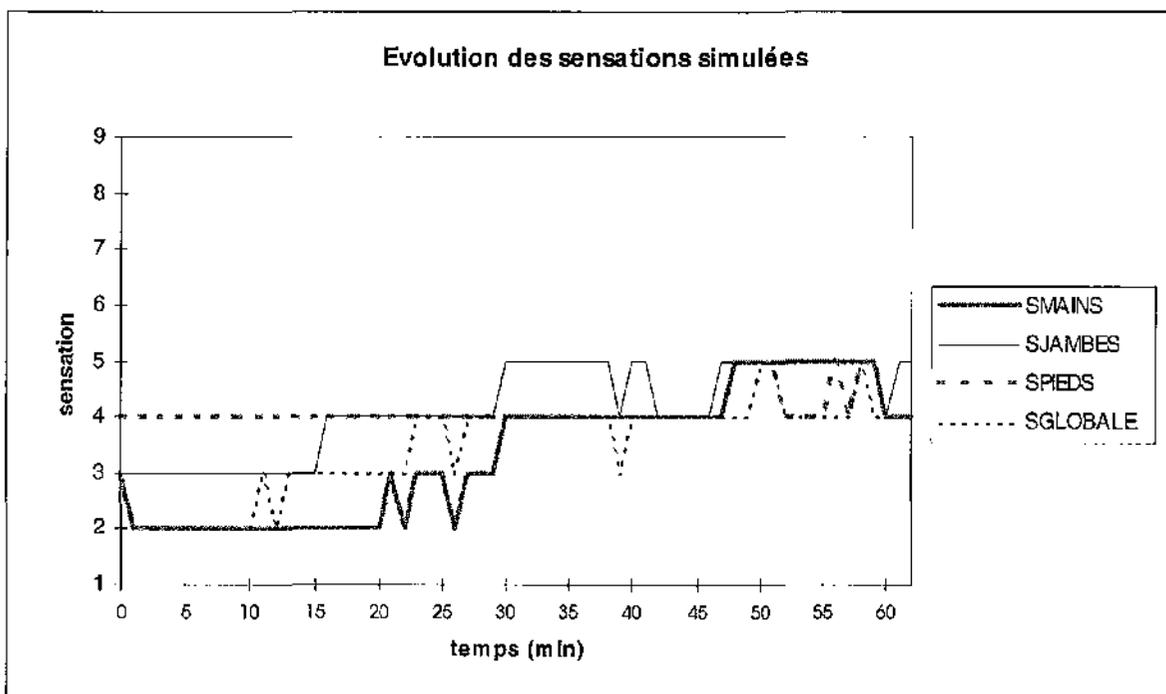
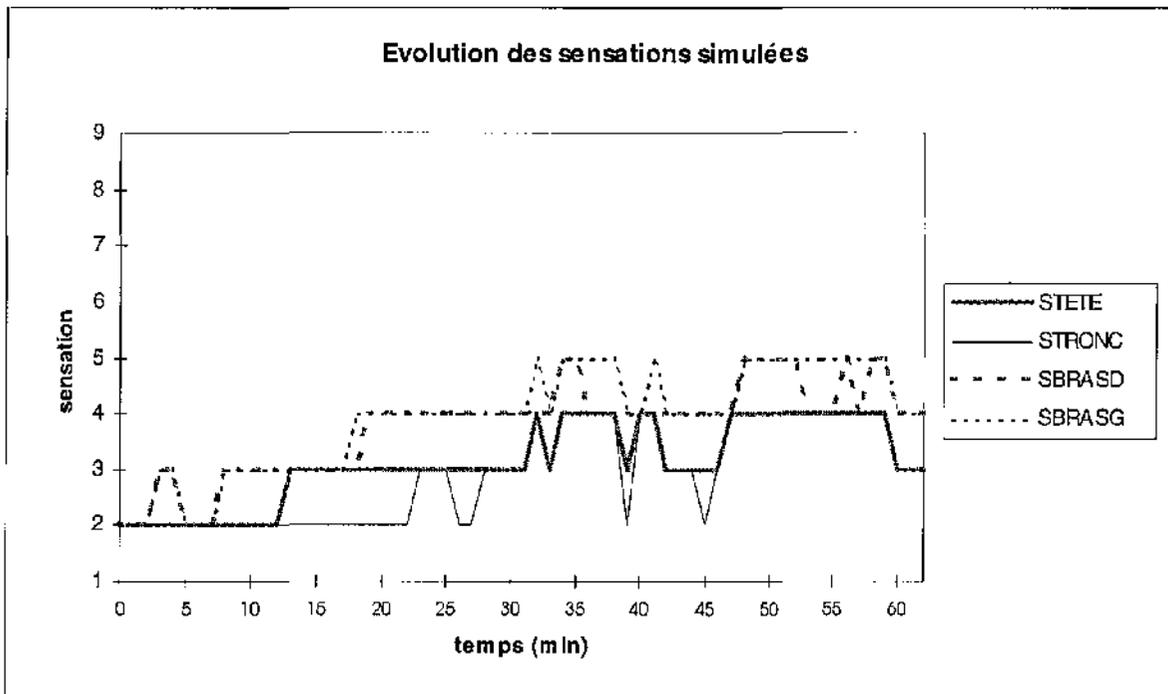
Essai n°5



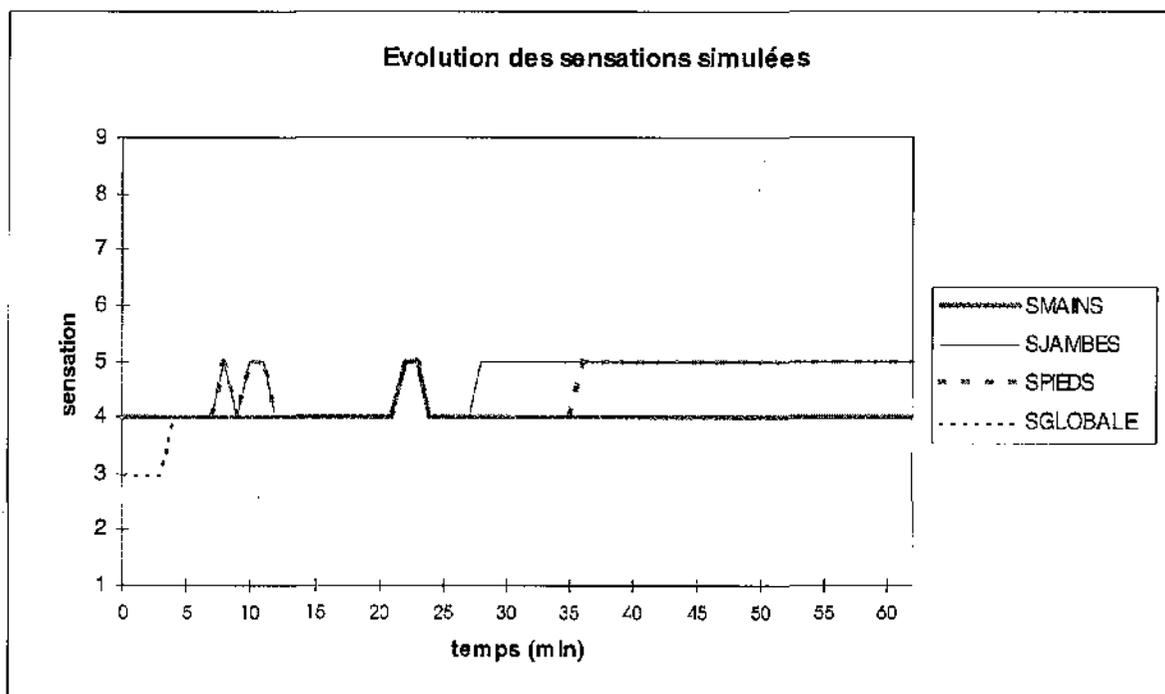
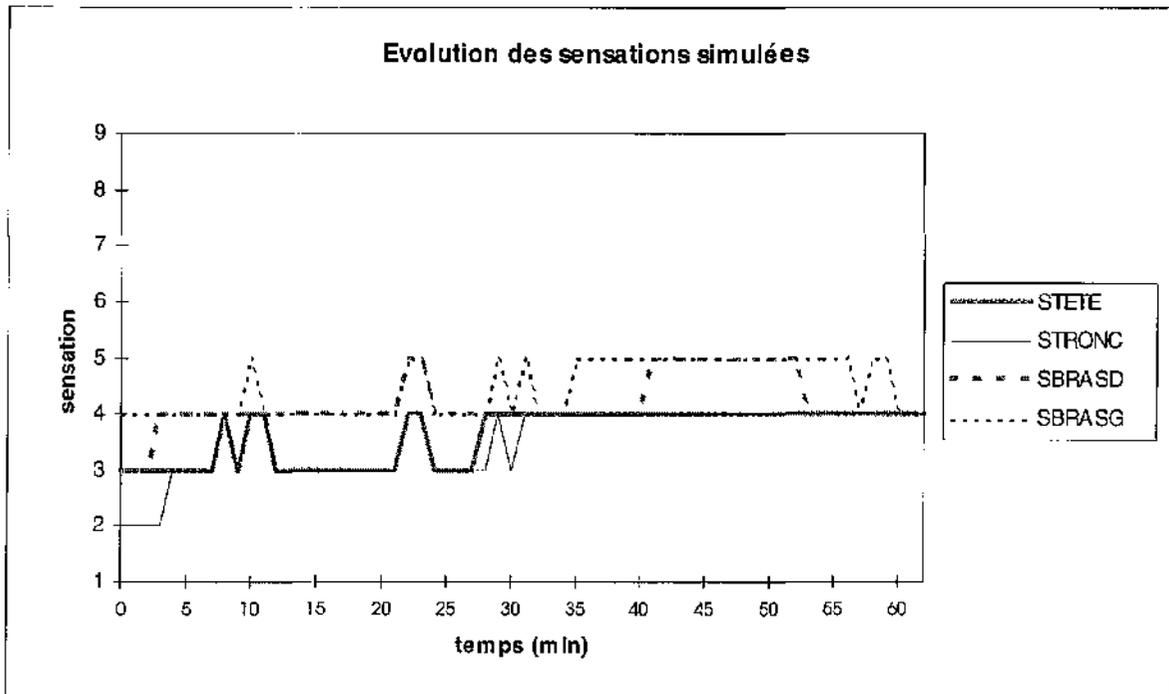
Essai n°6



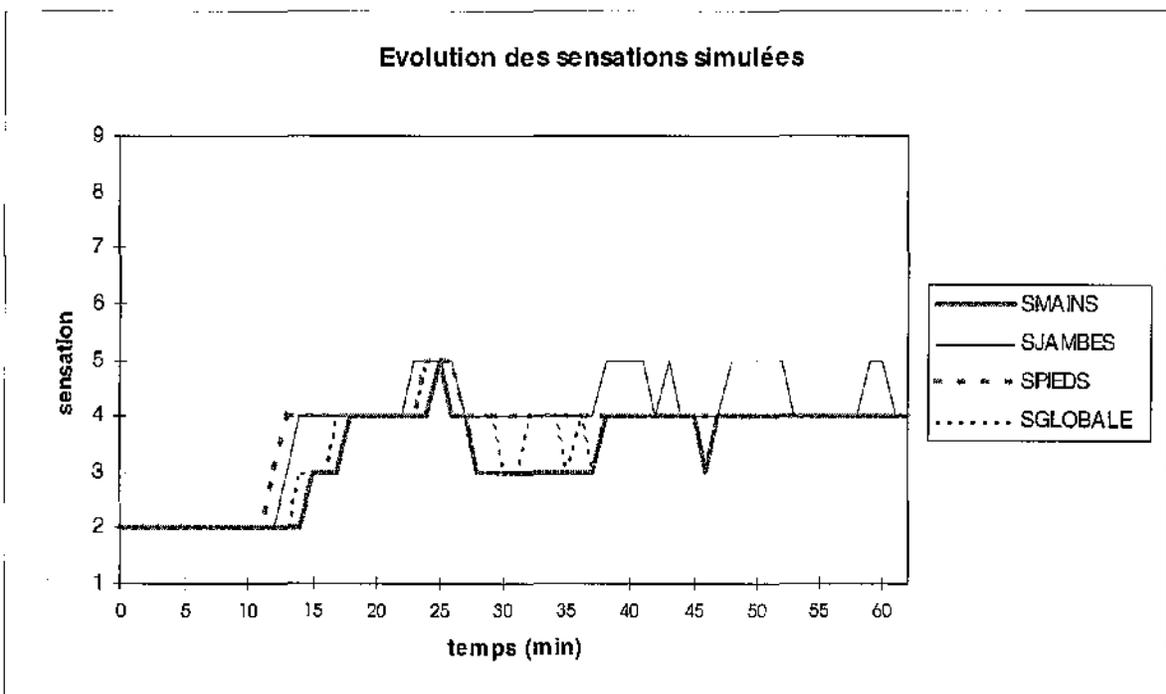
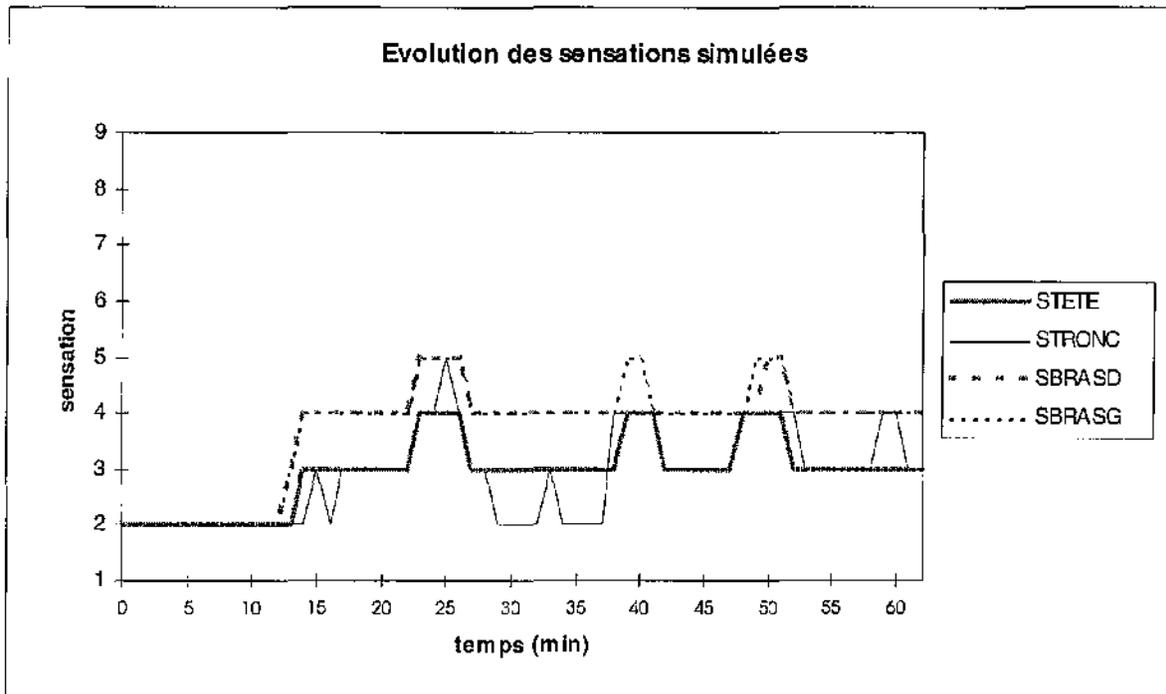
Essai n°7



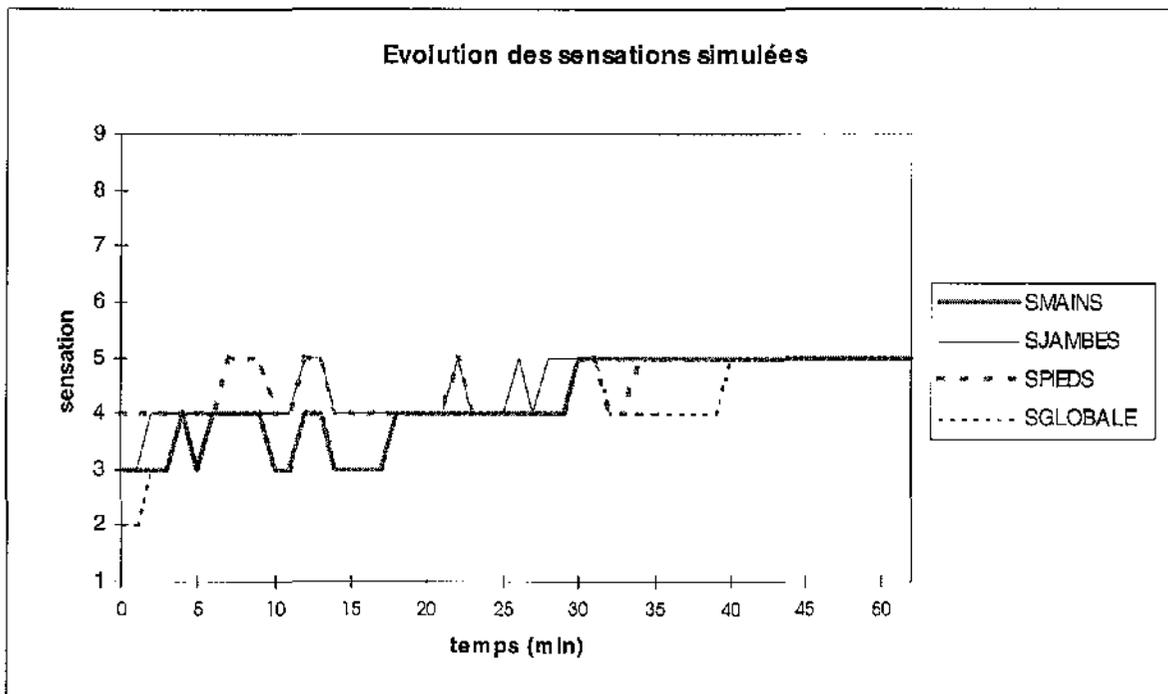
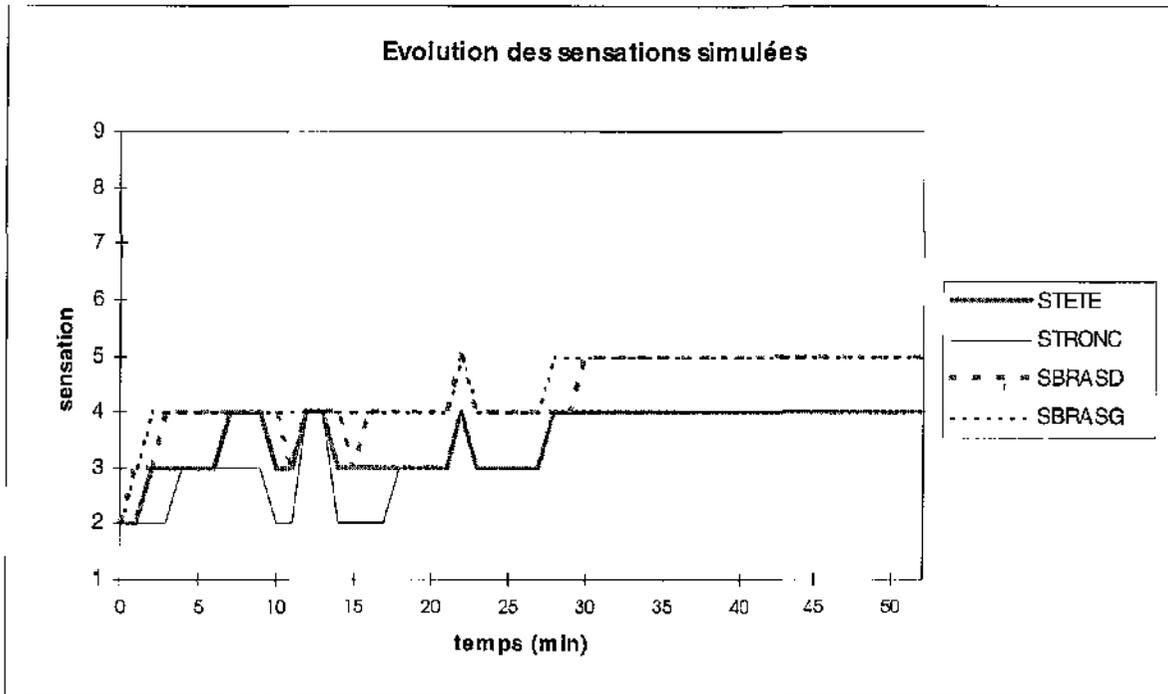
Essai n°8



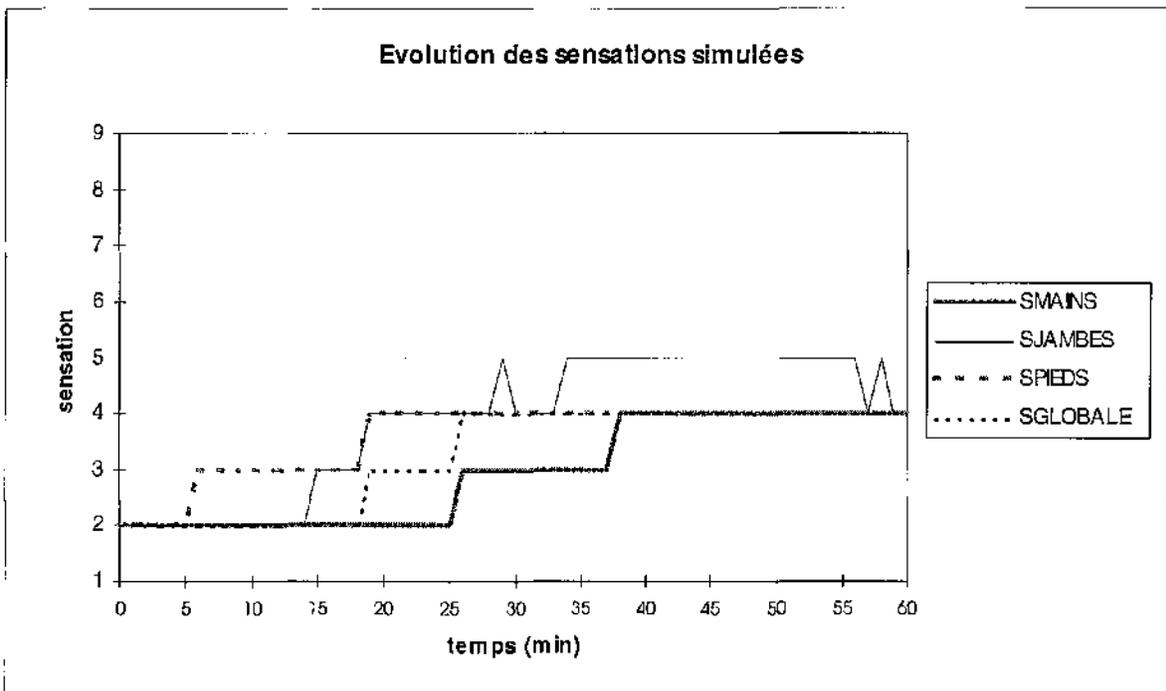
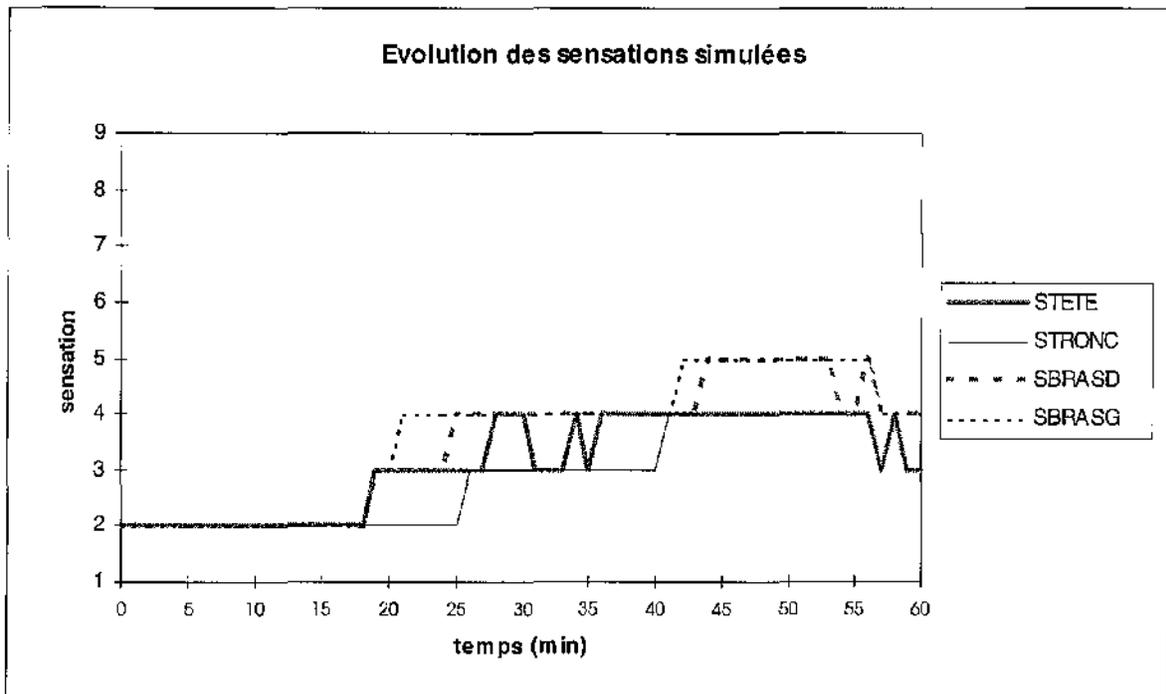
Essai n°9



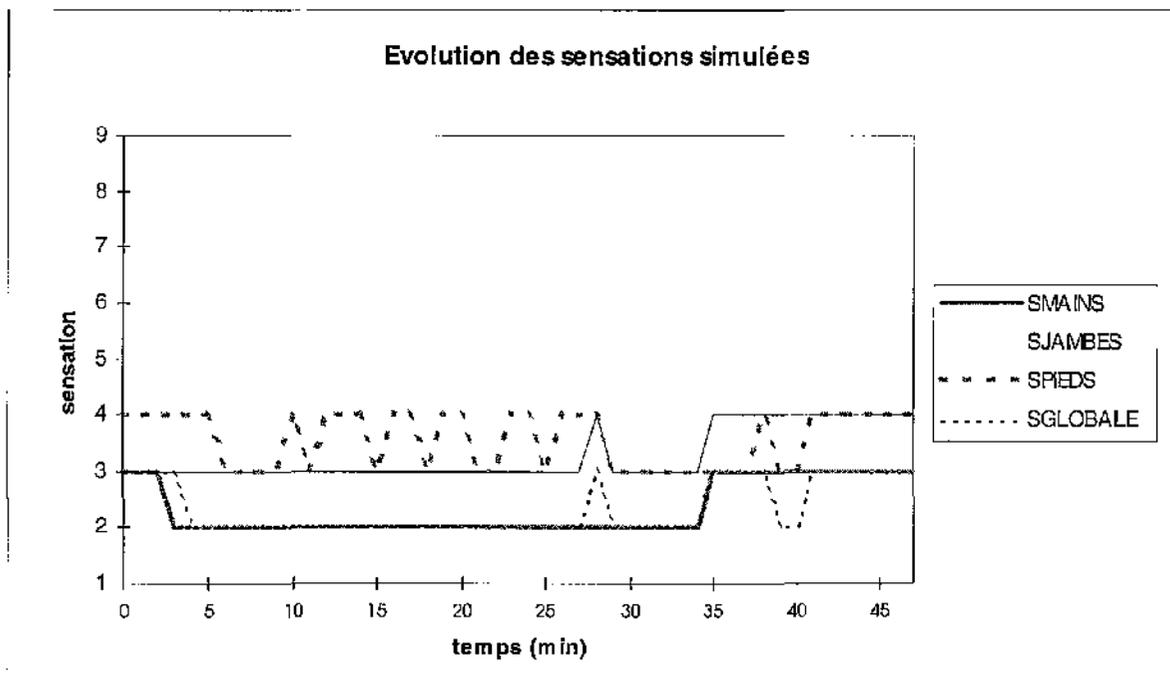
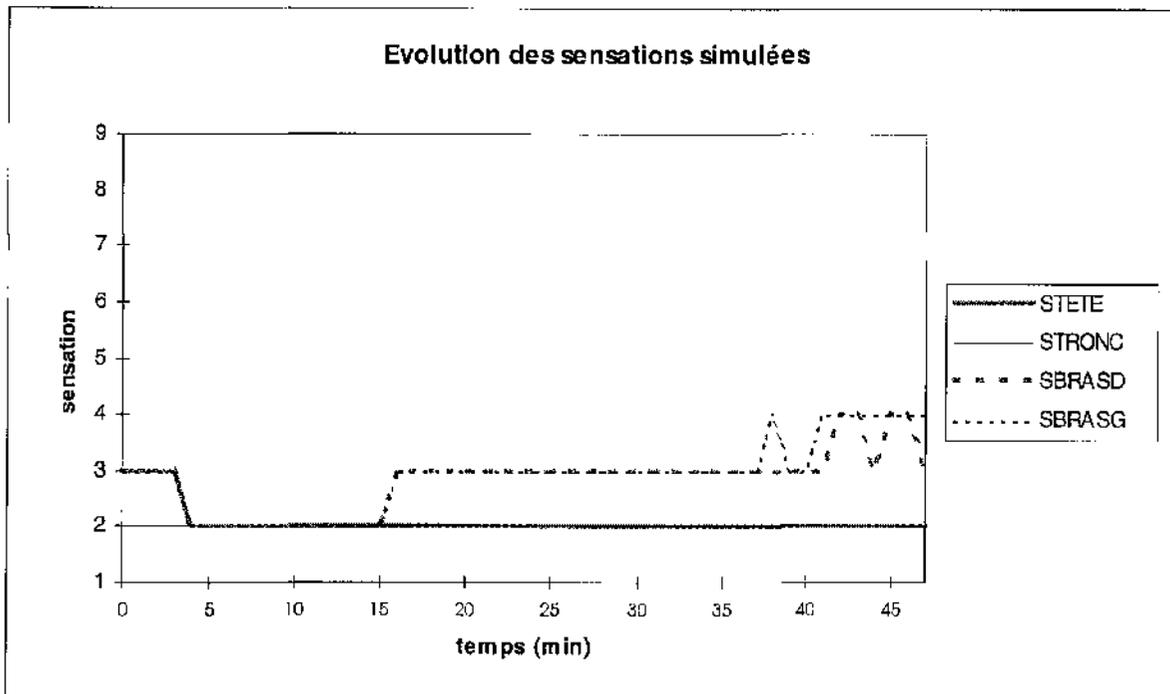
Essai n°10



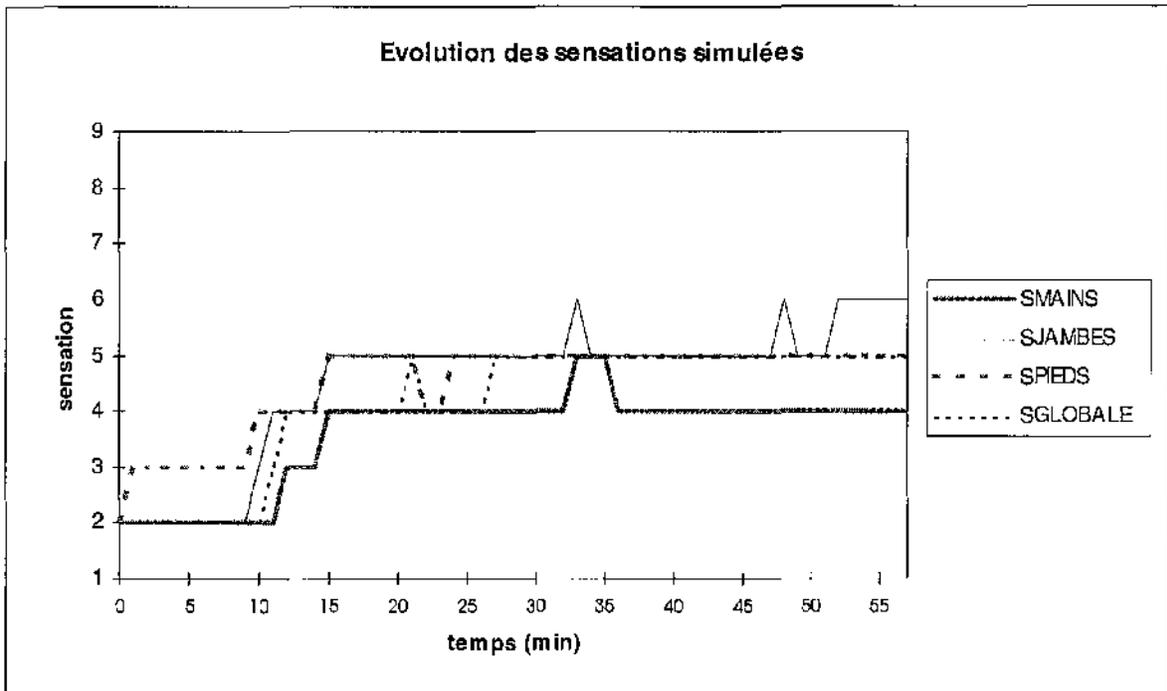
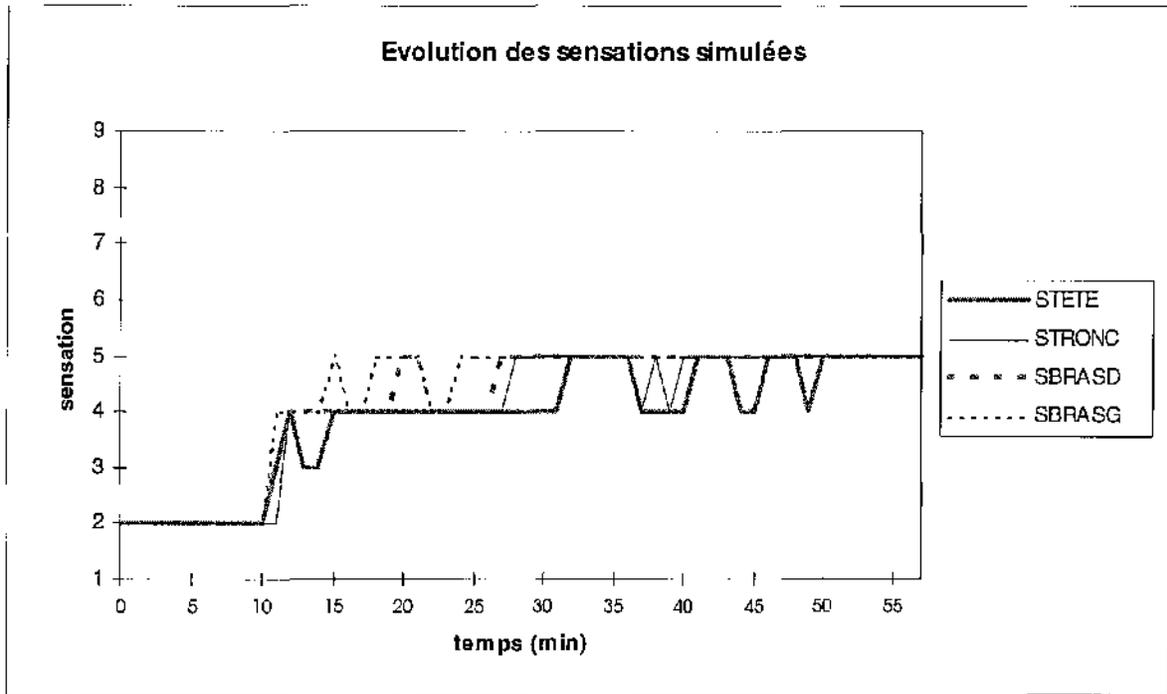
Essai n°11



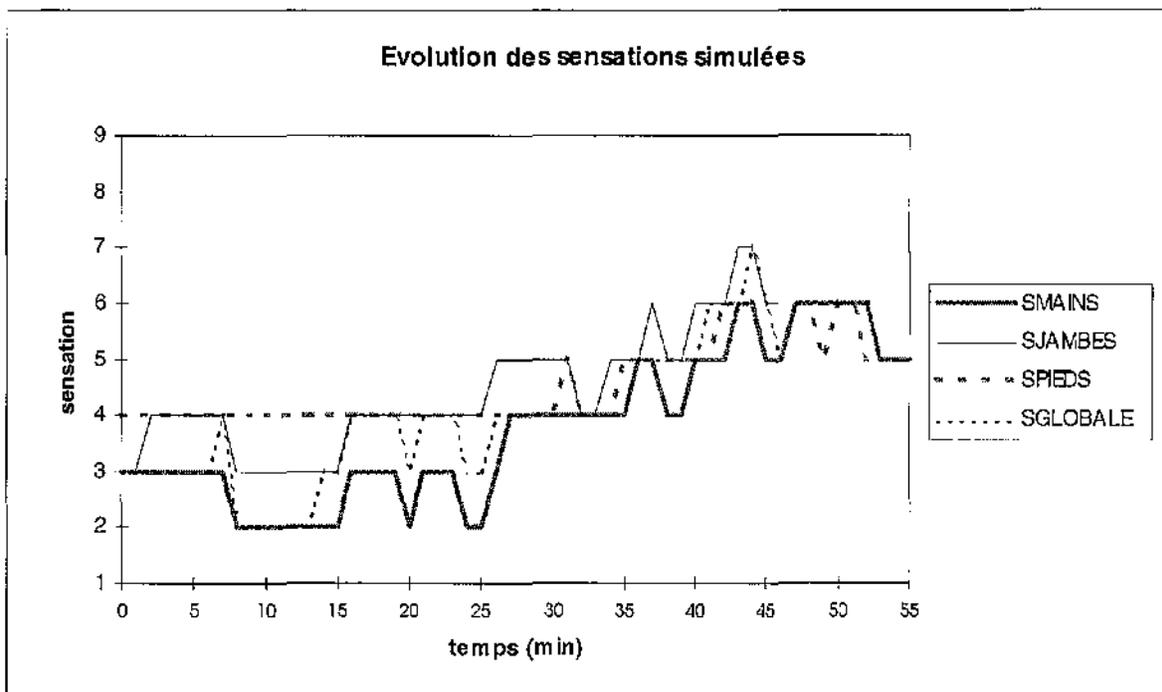
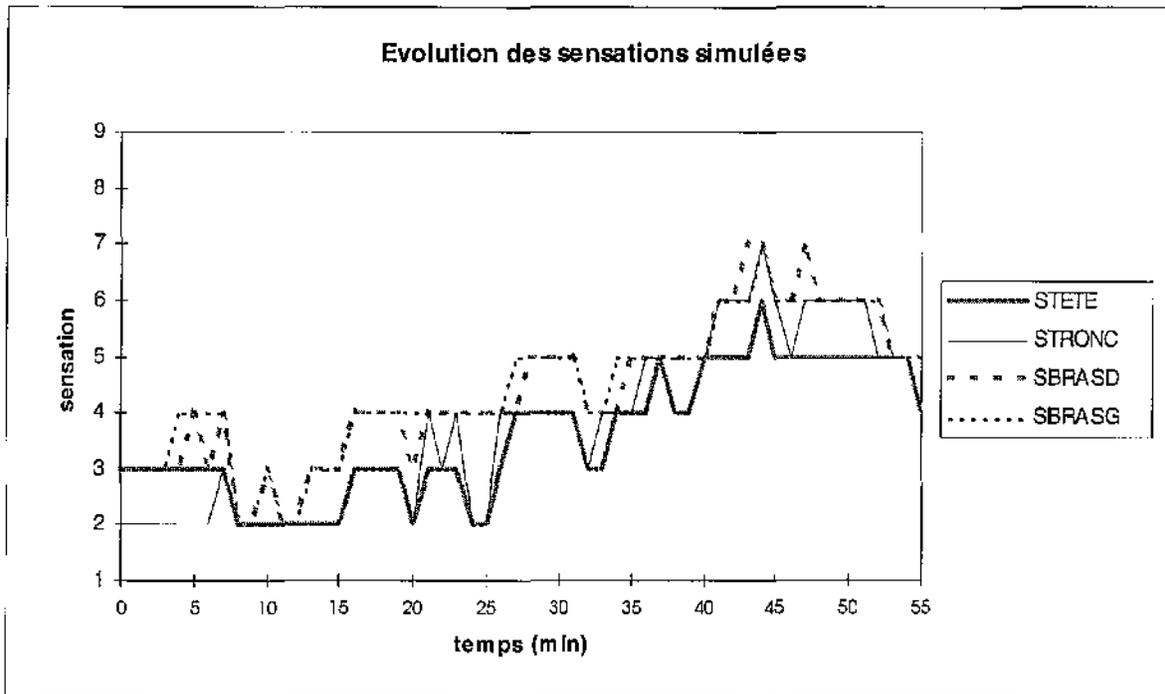
Essai n°12



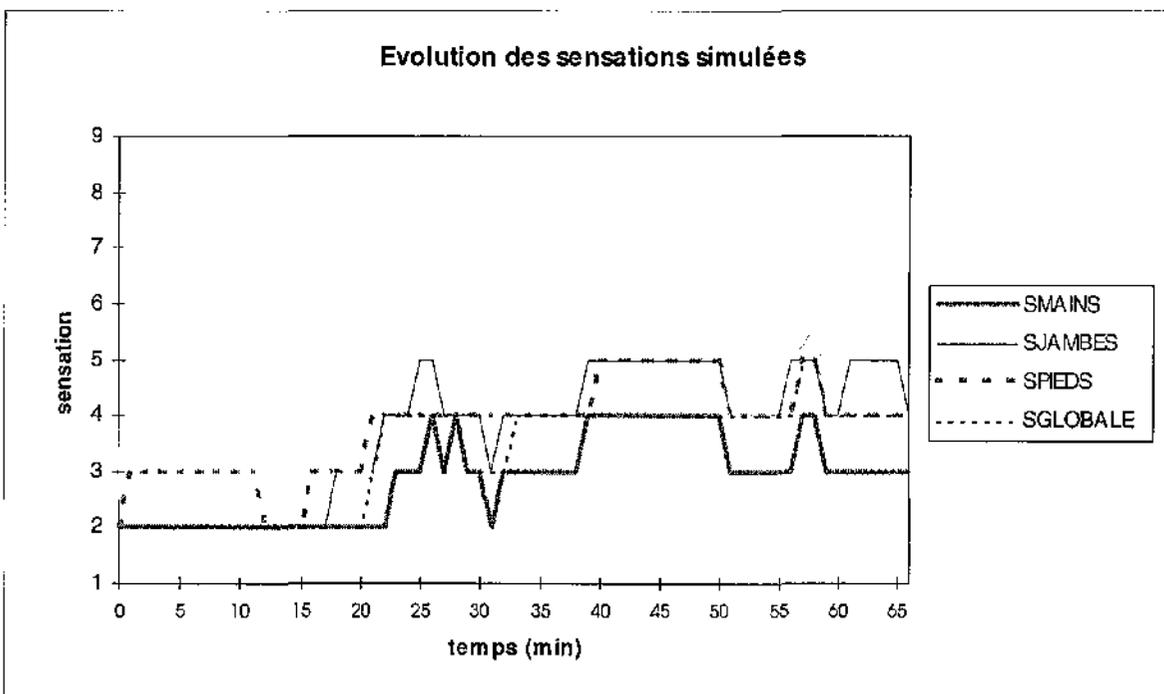
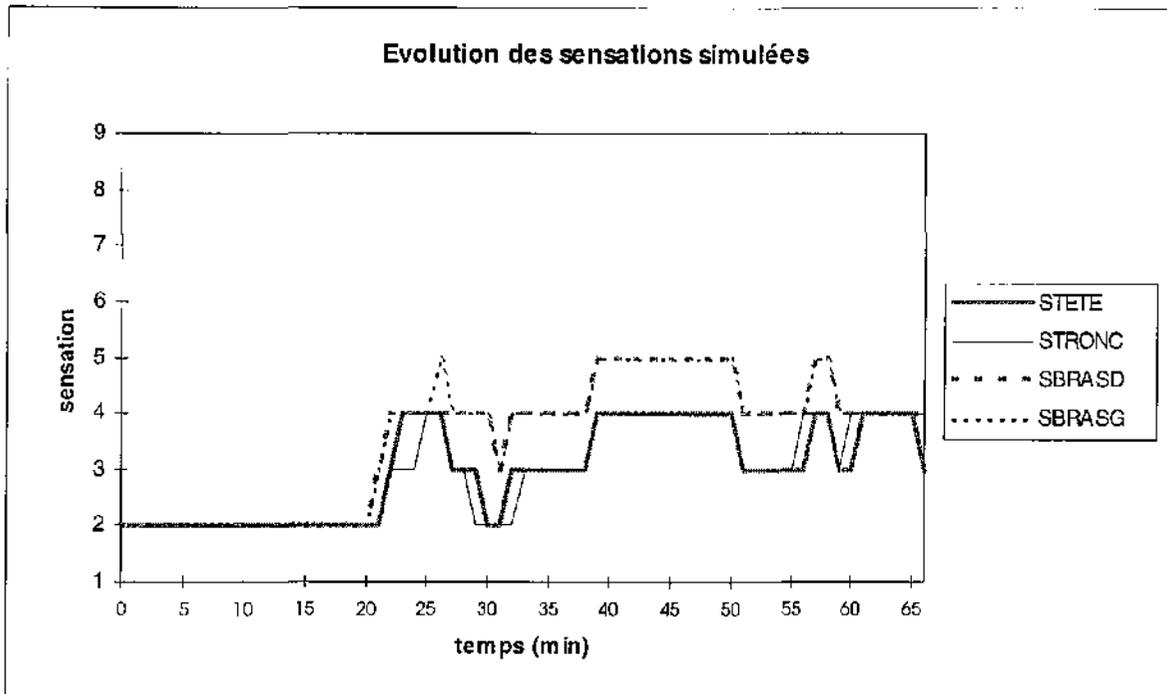
Essai n°13



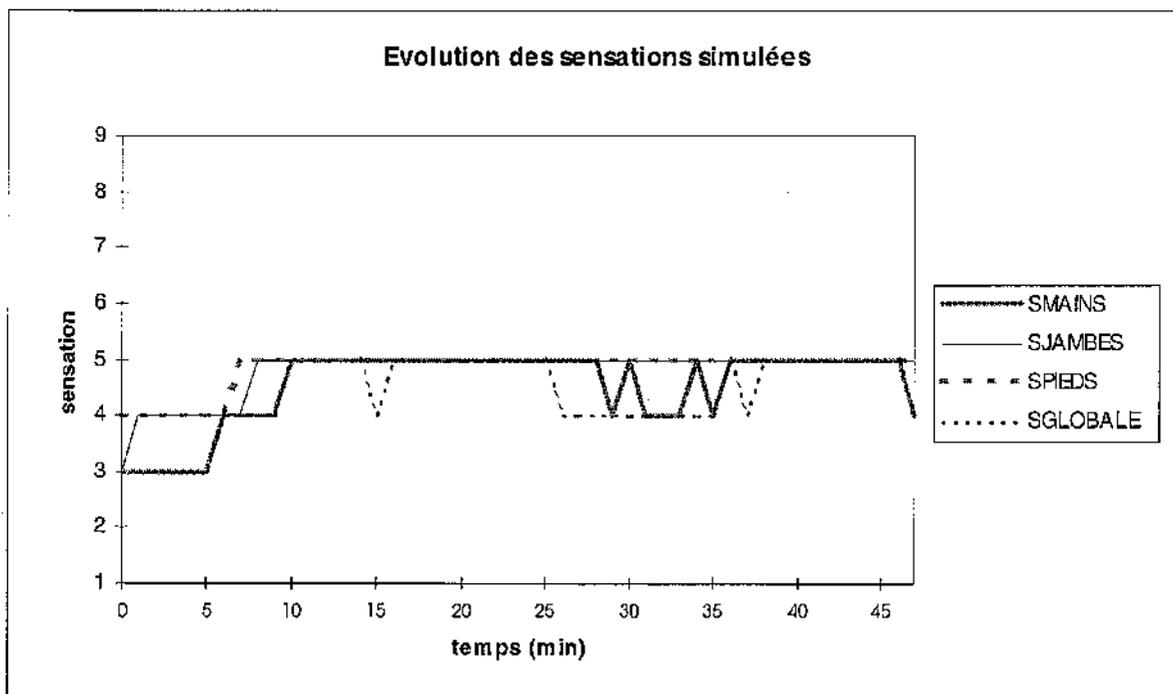
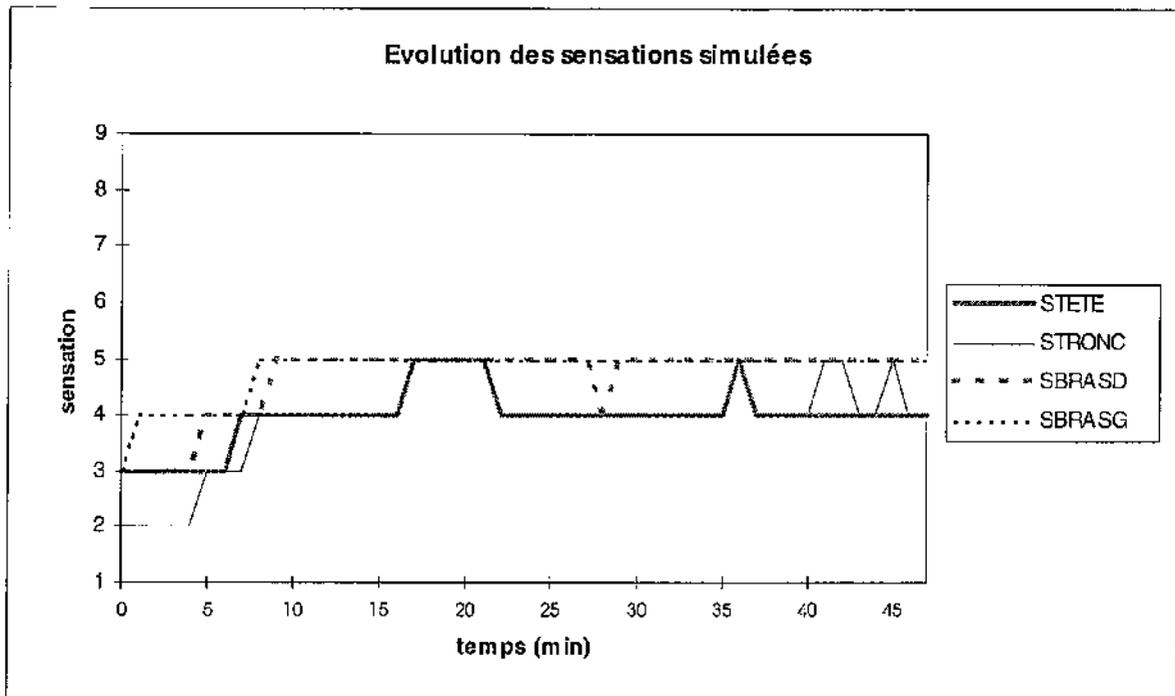
Essai n°14



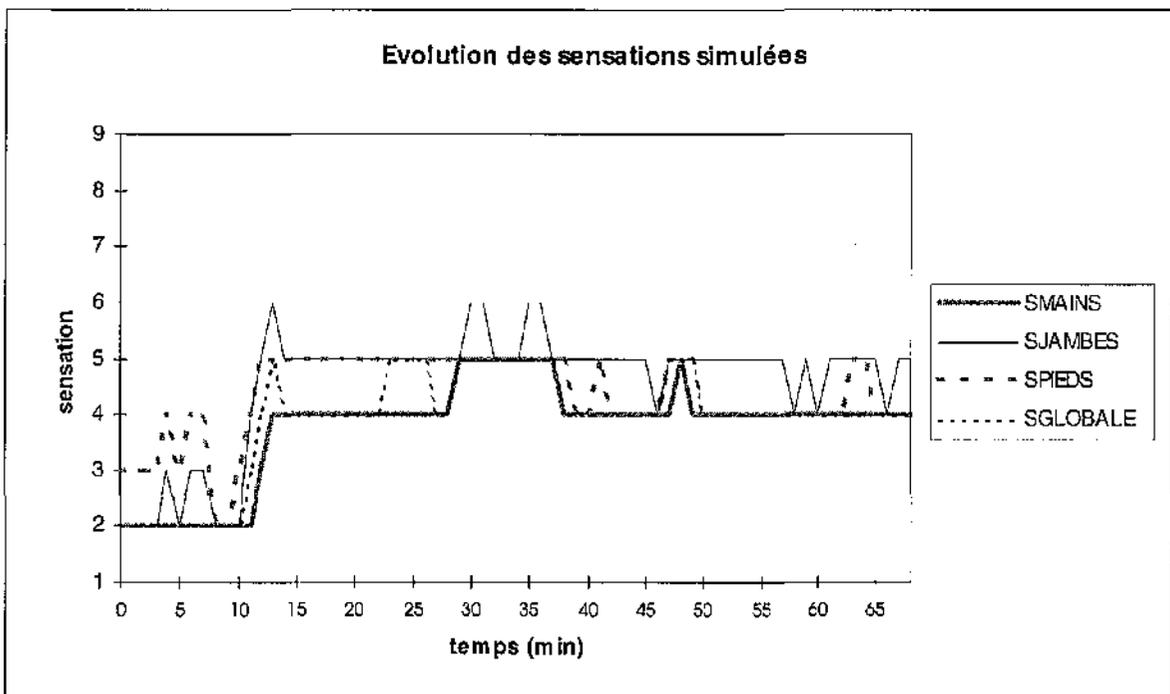
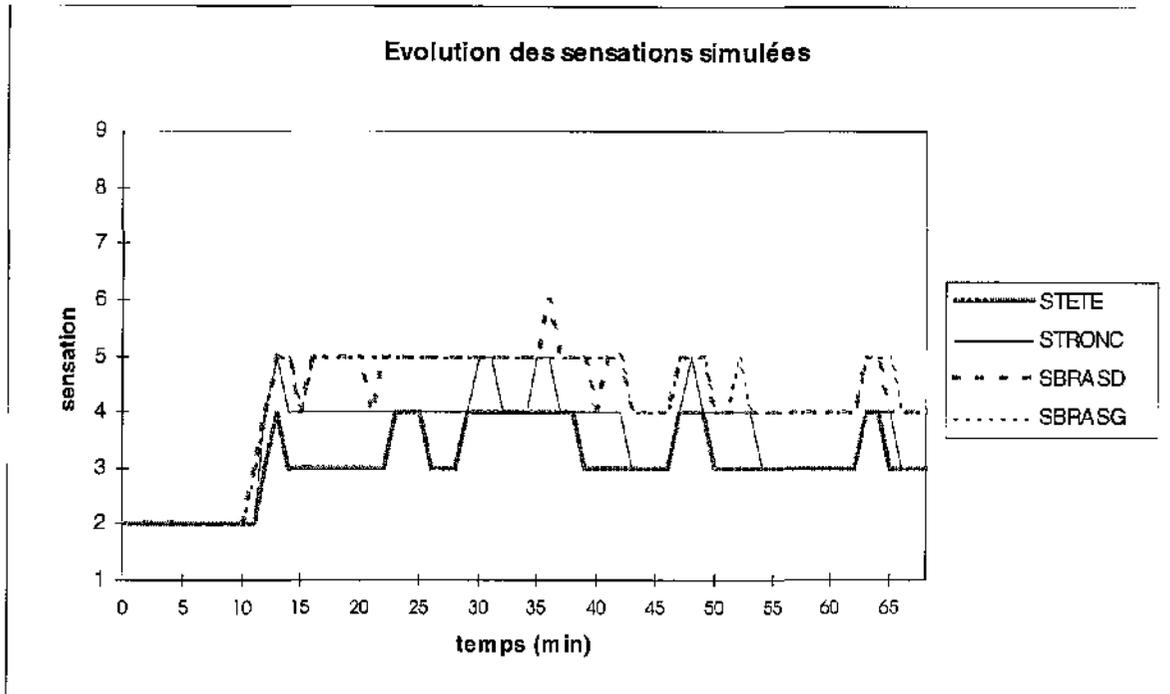
Essai n°15



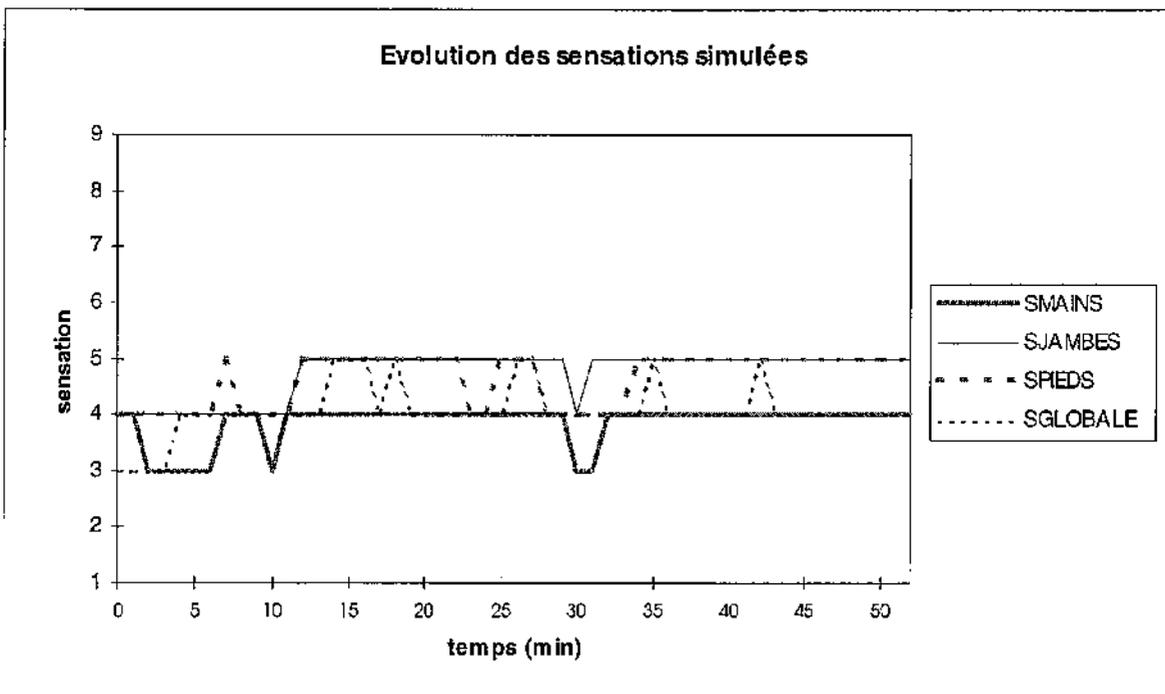
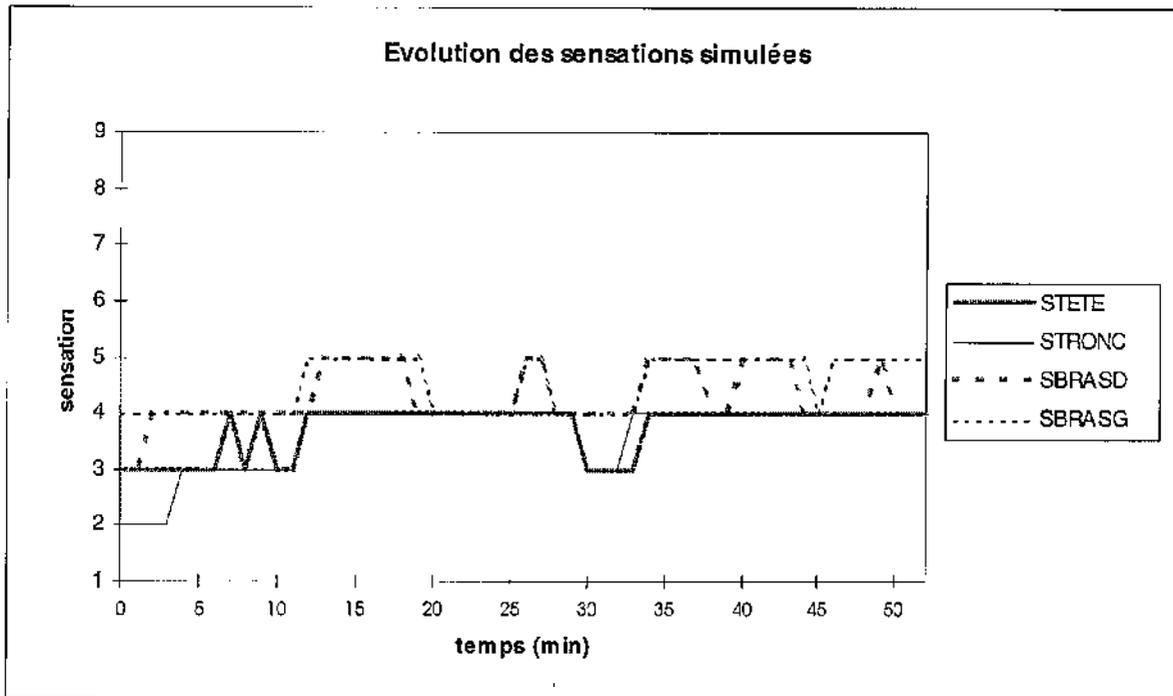
Essai n°16



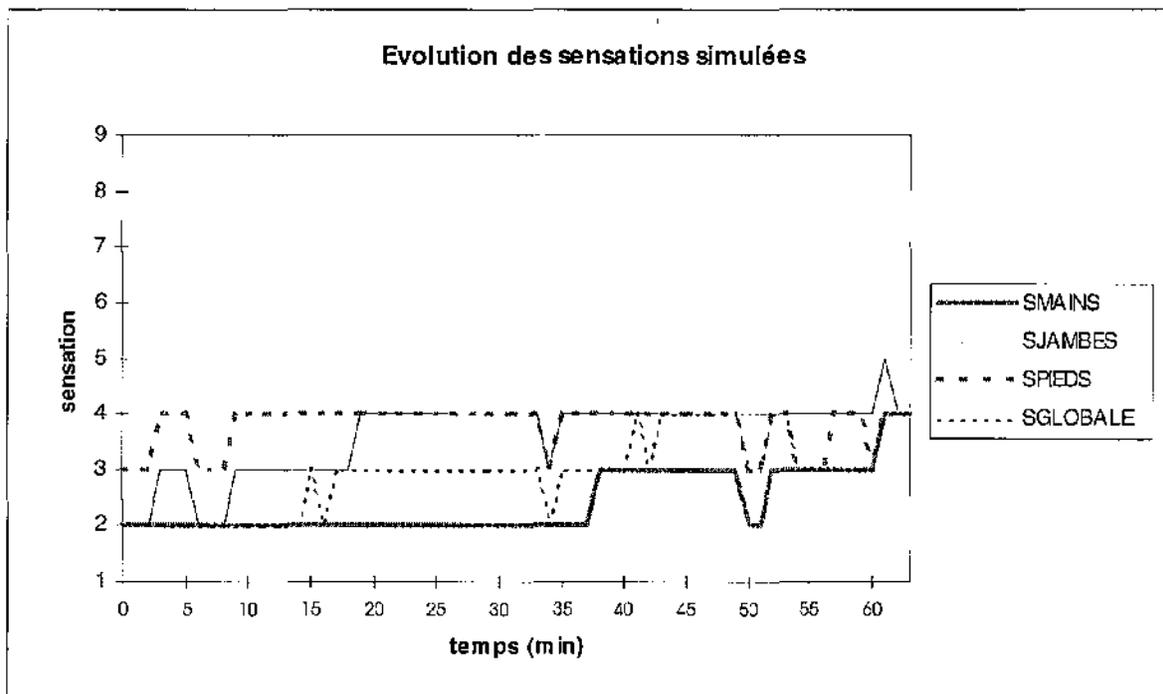
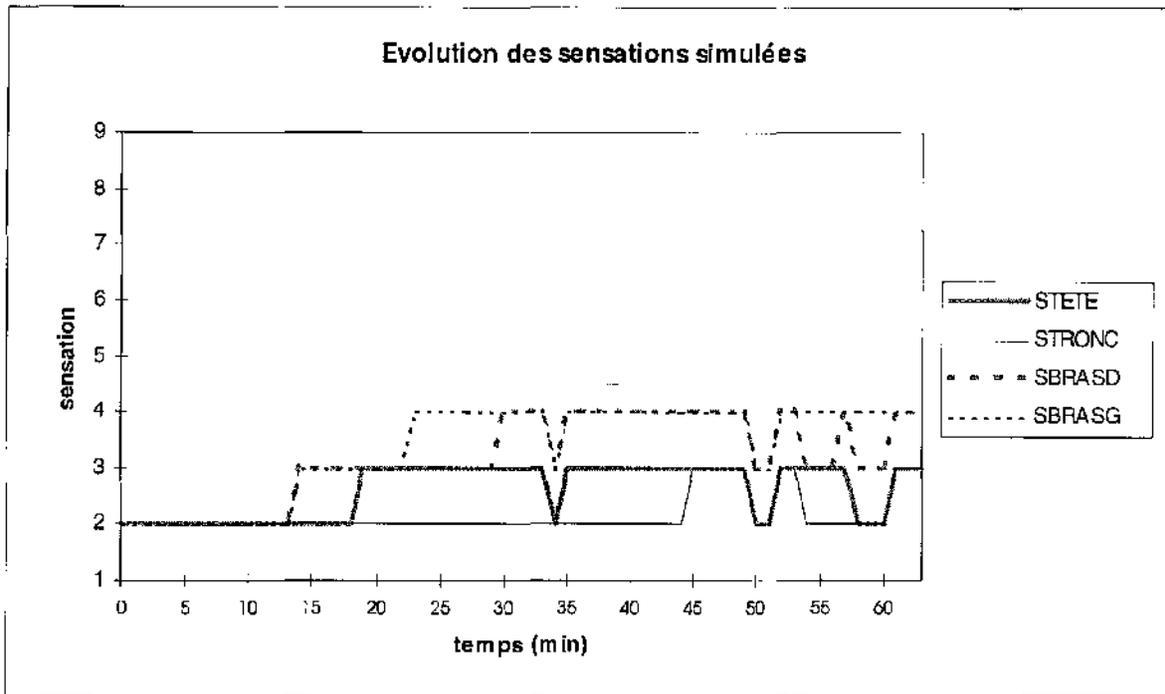
Essai n°17



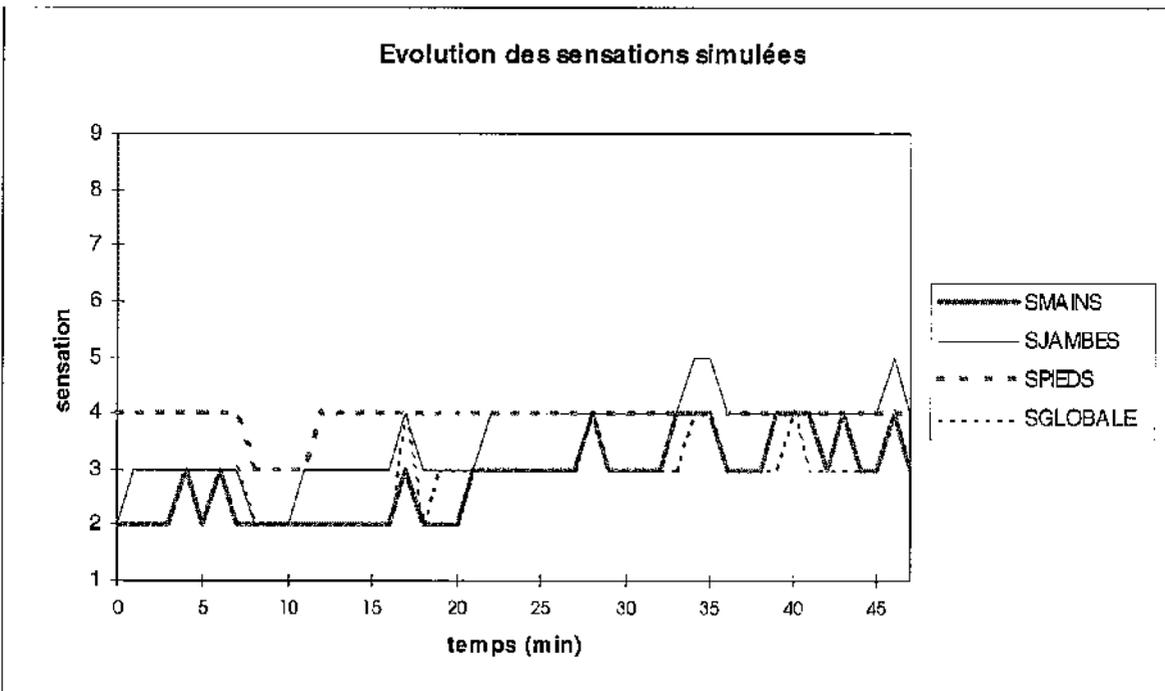
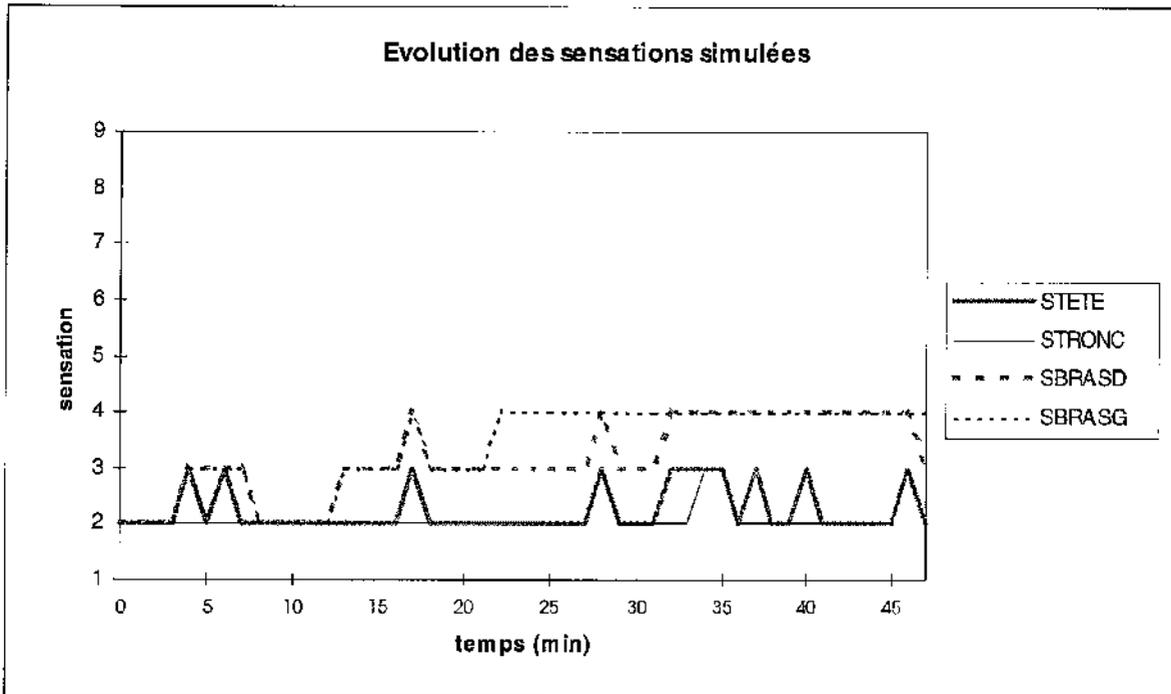
Essai n°18



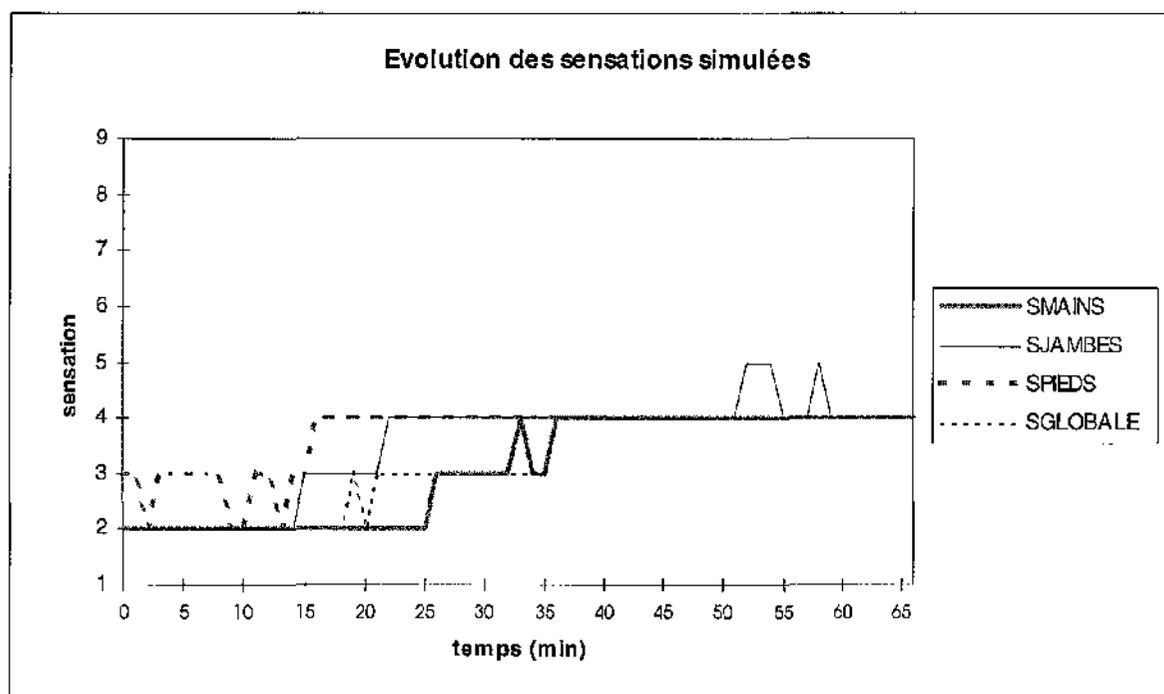
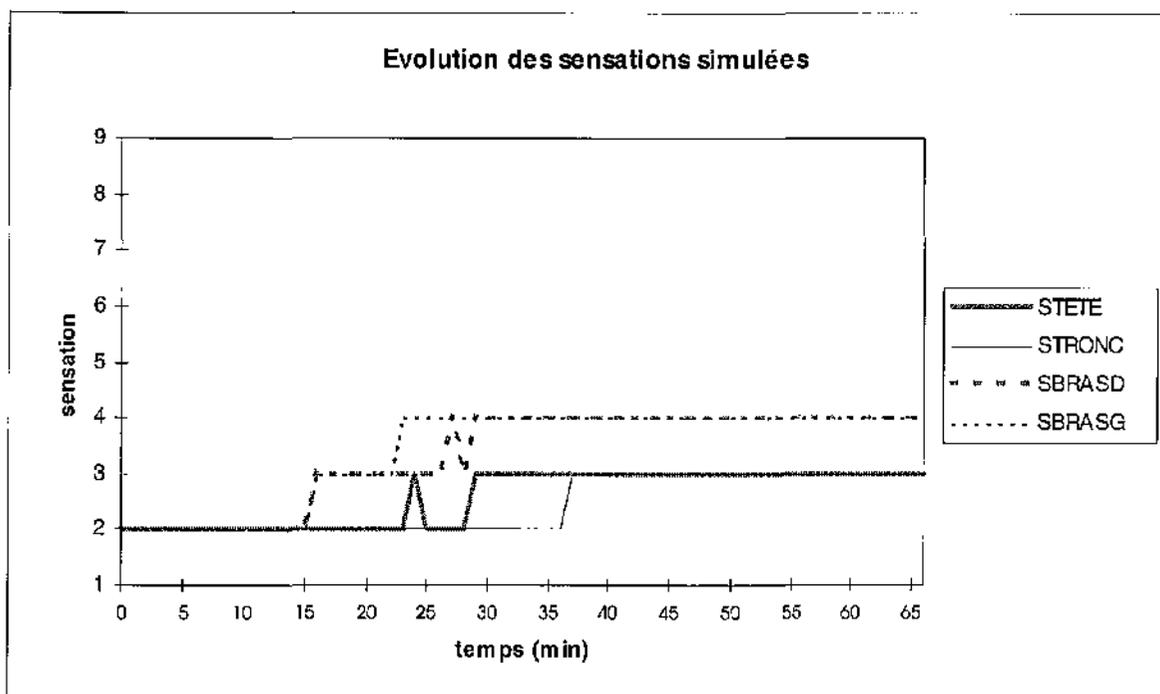
Essai n°19



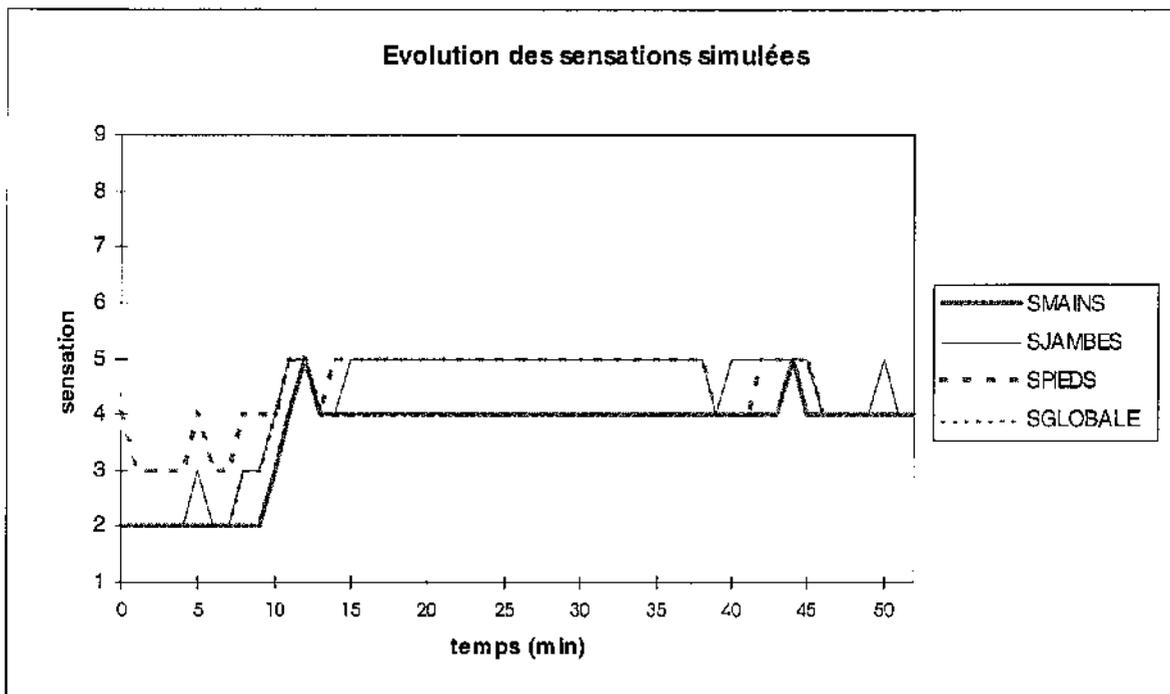
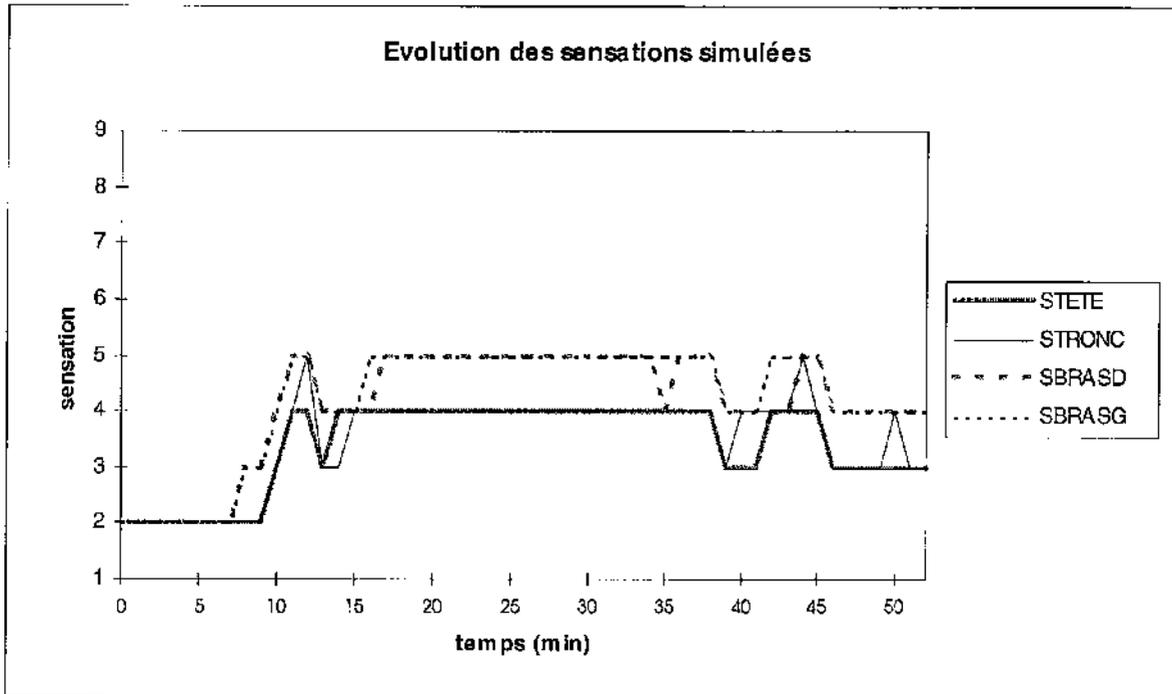
Essai n°20



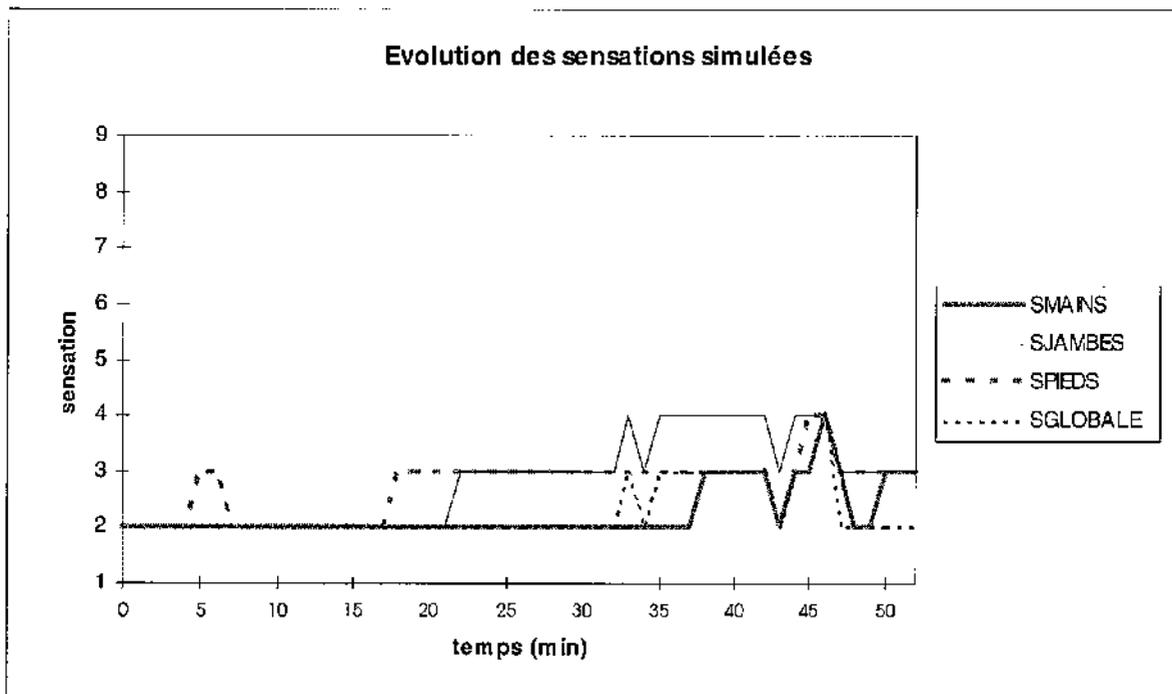
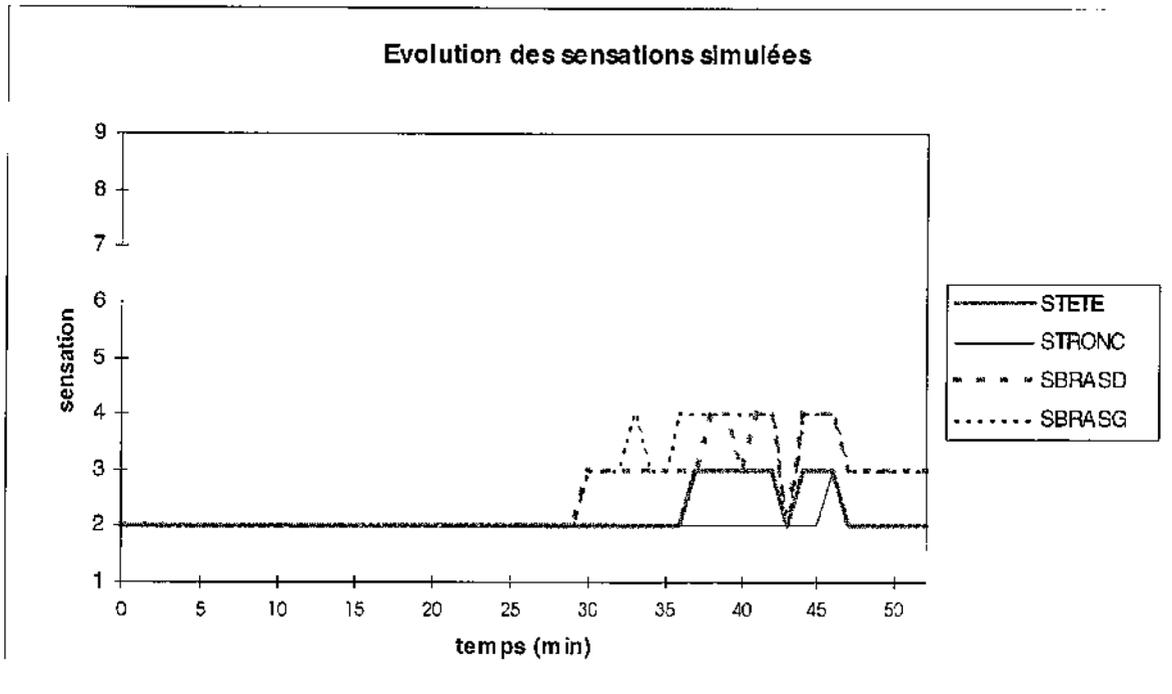
Essai n°21



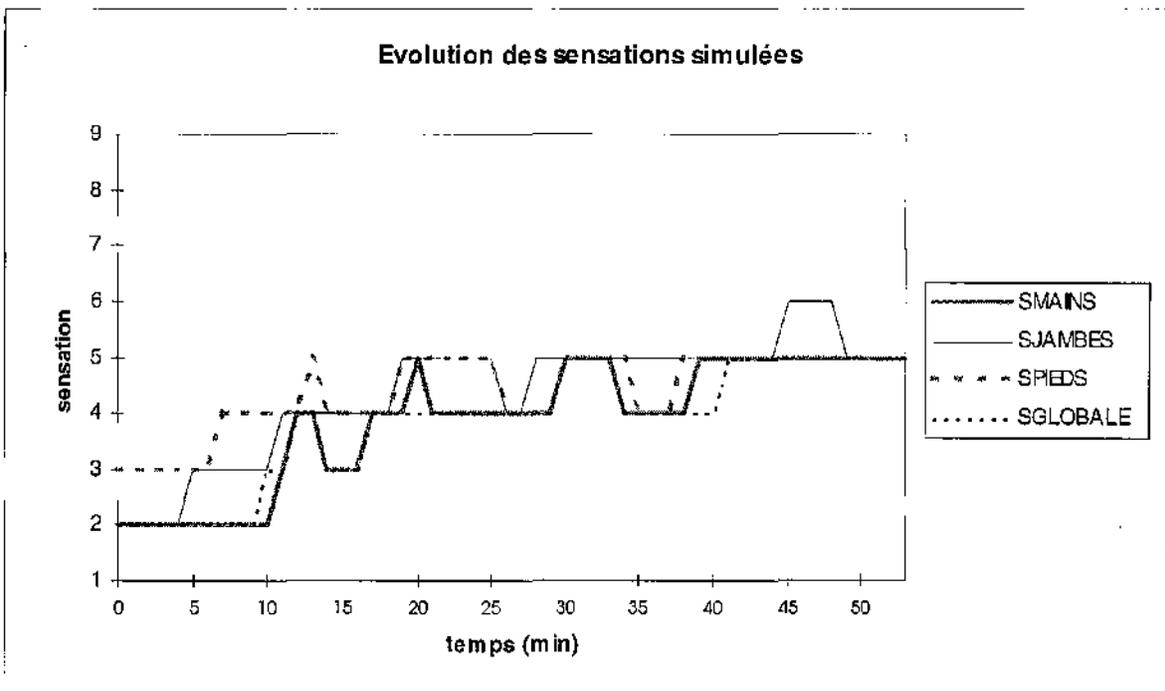
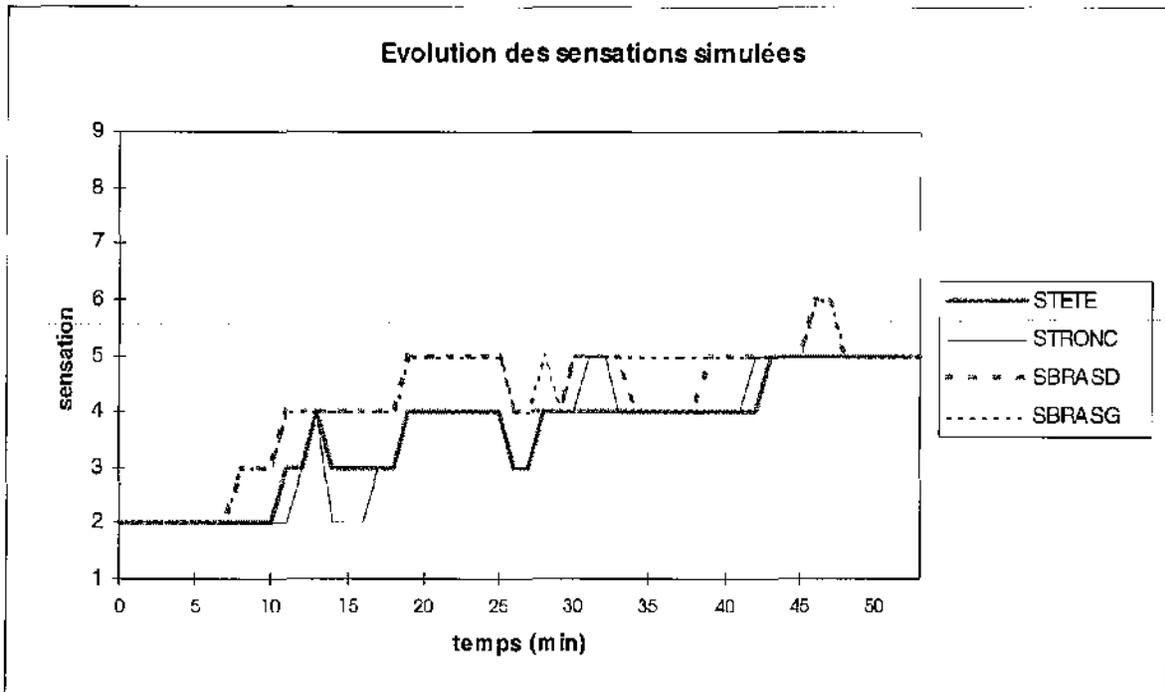
Essai n°22



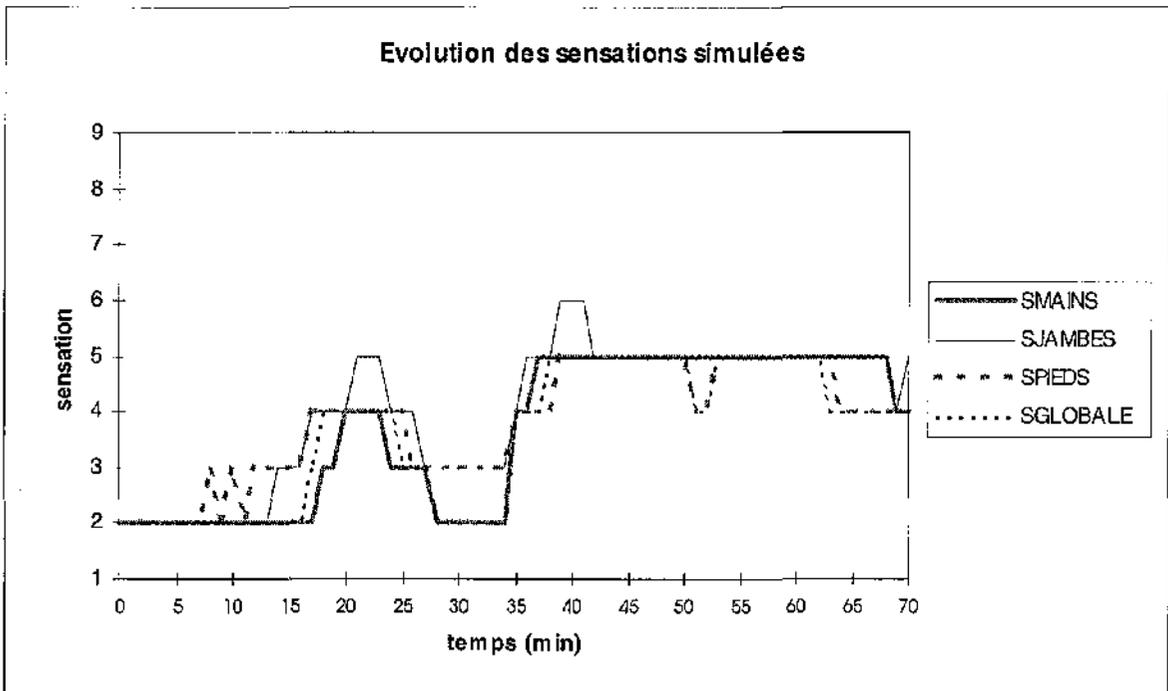
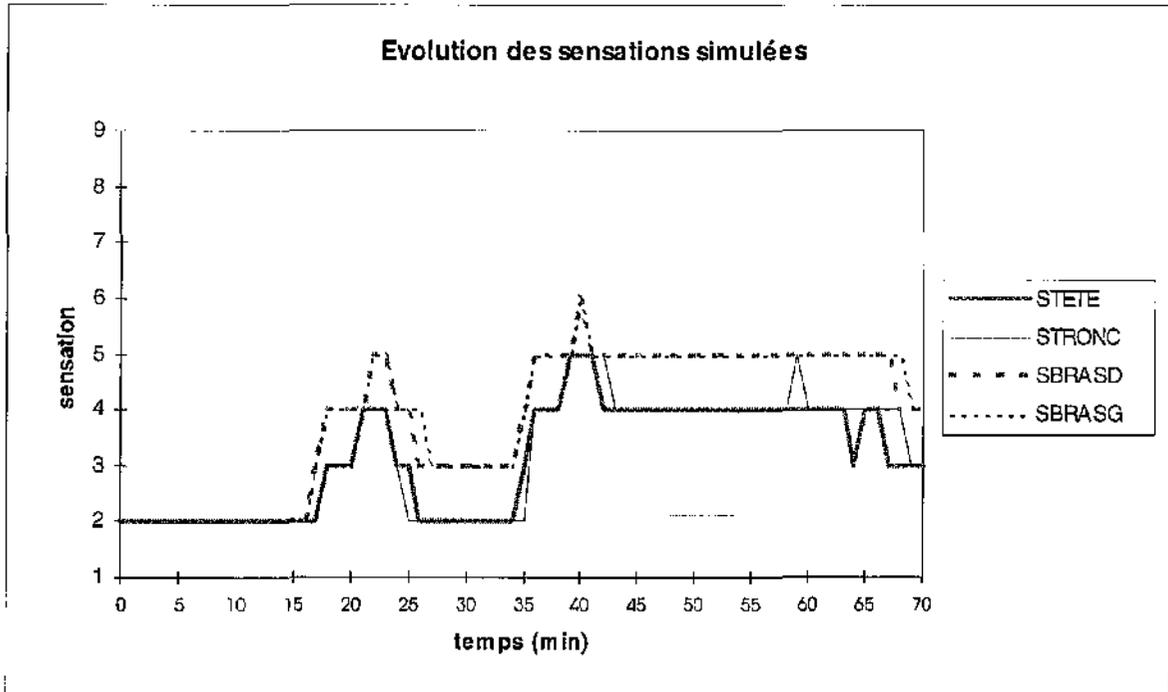
Essai n°23



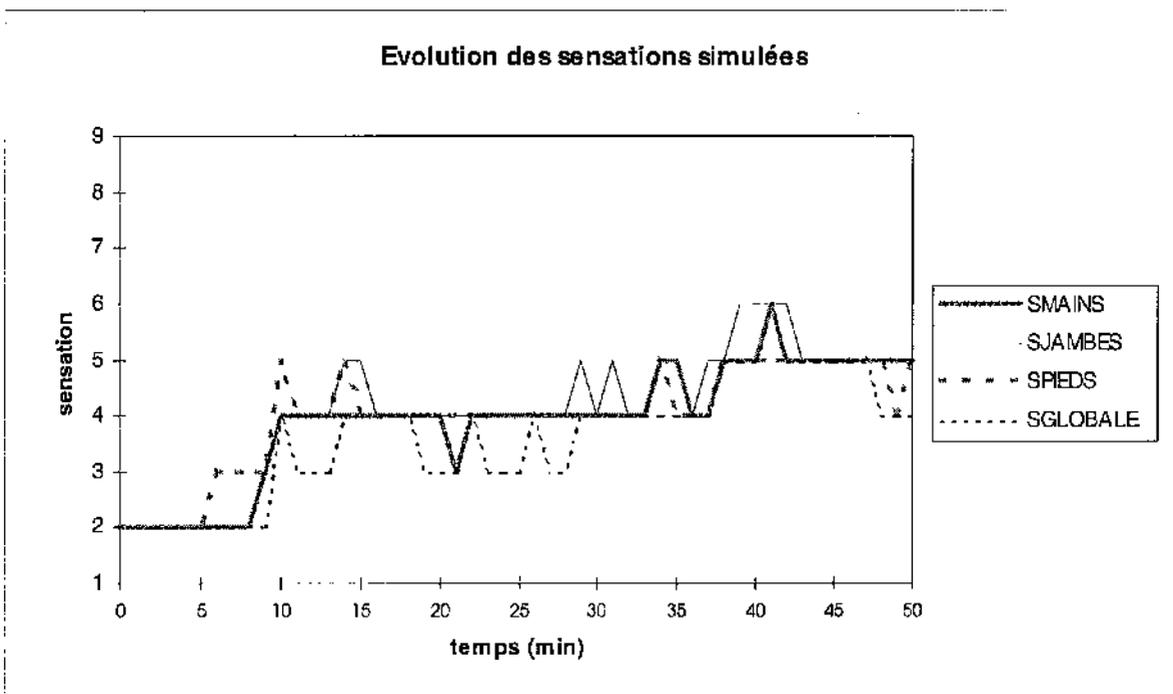
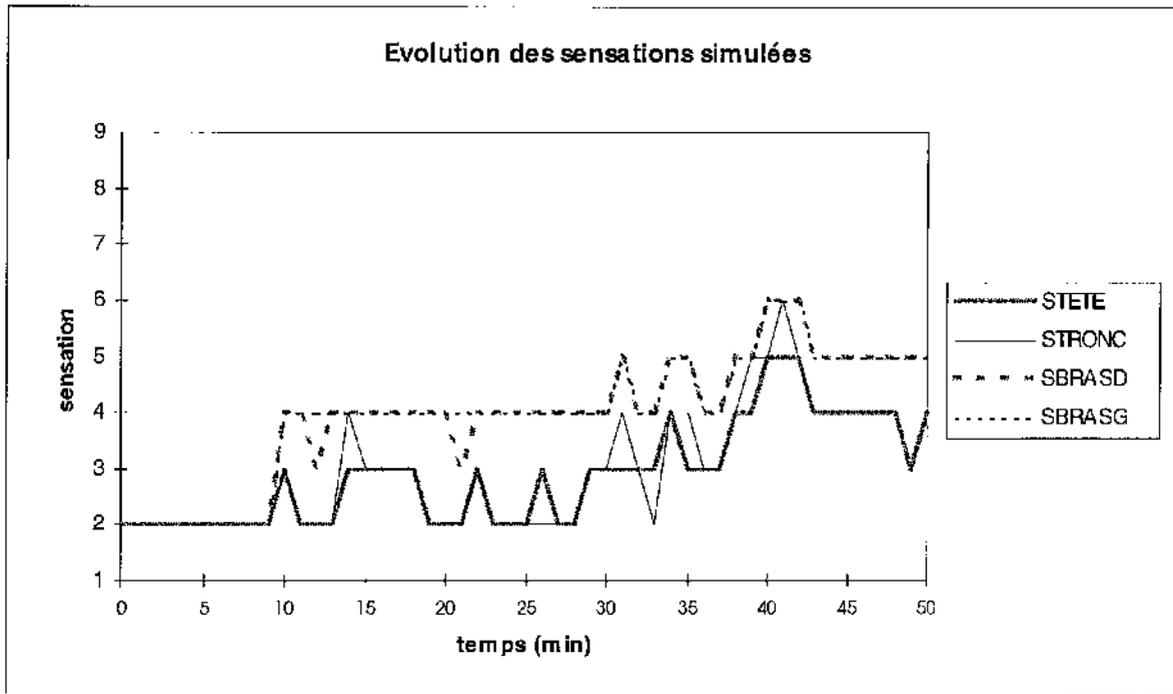
Essai n°24



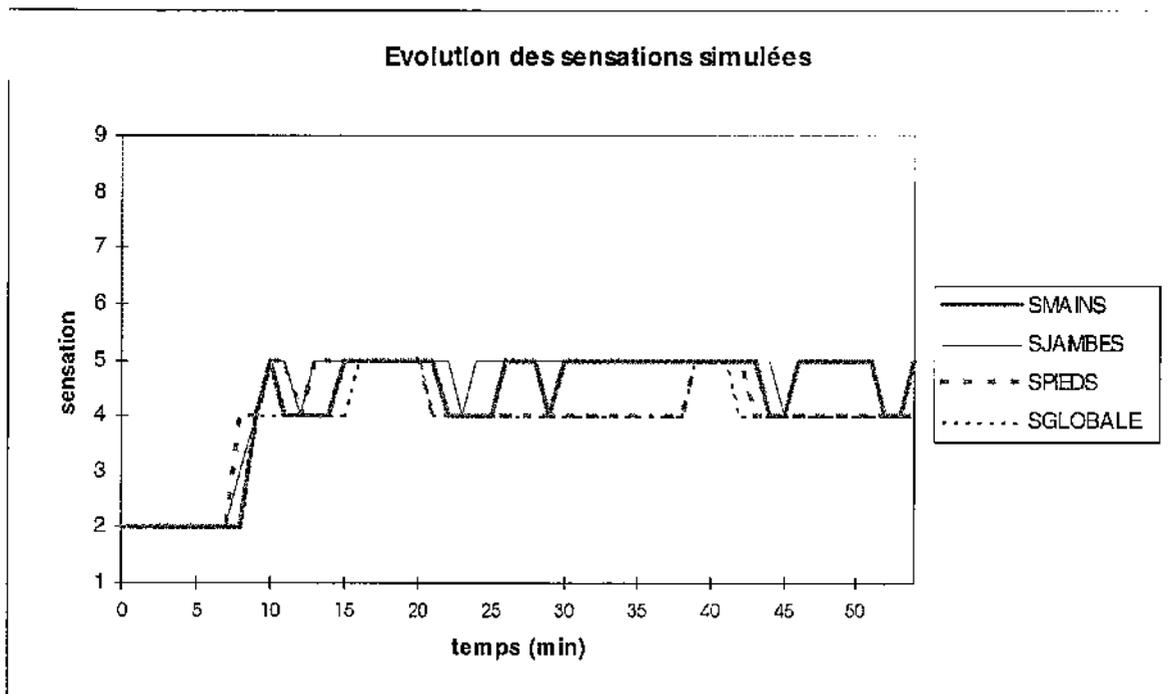
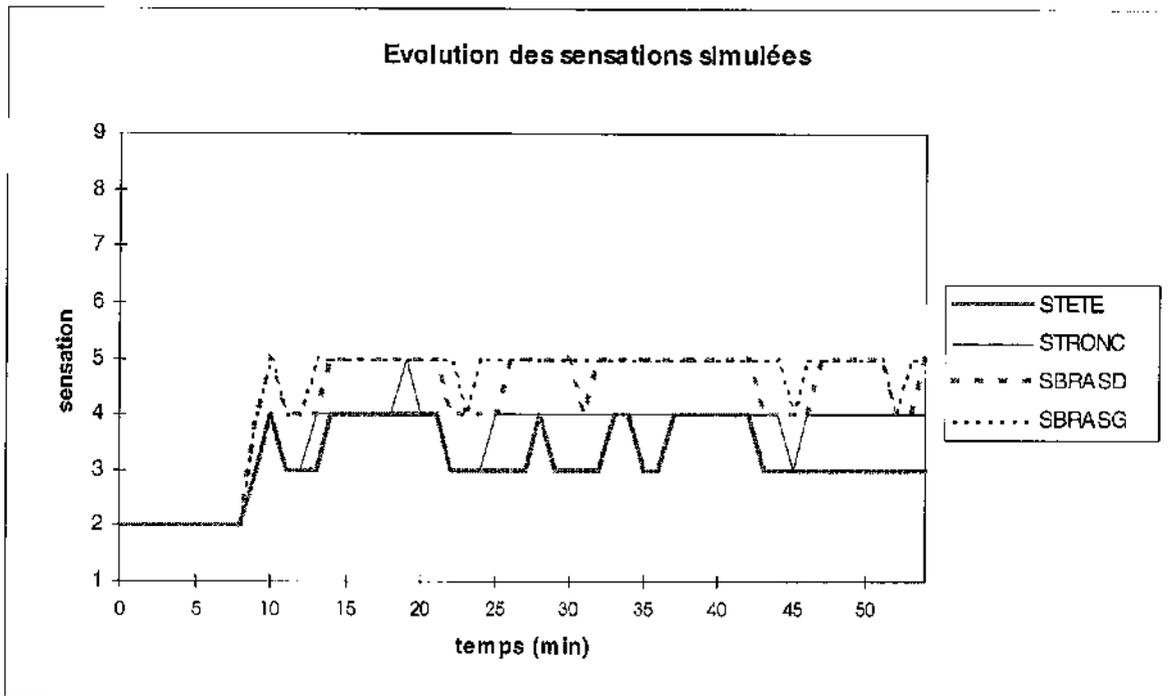
Essai n°25



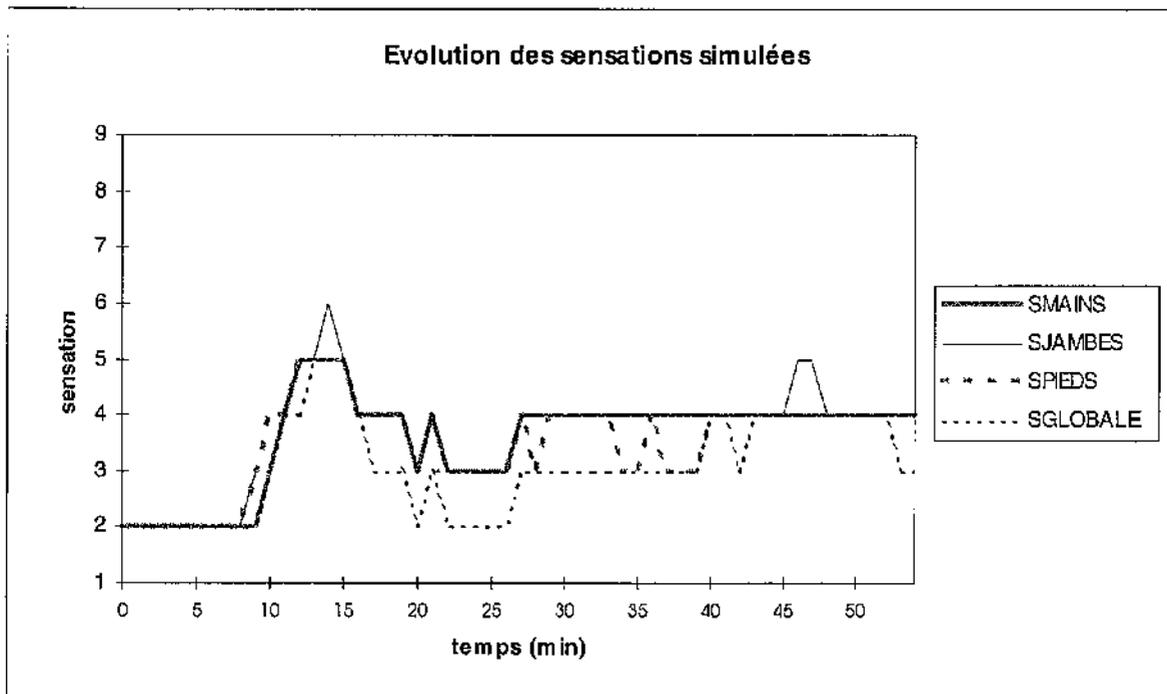
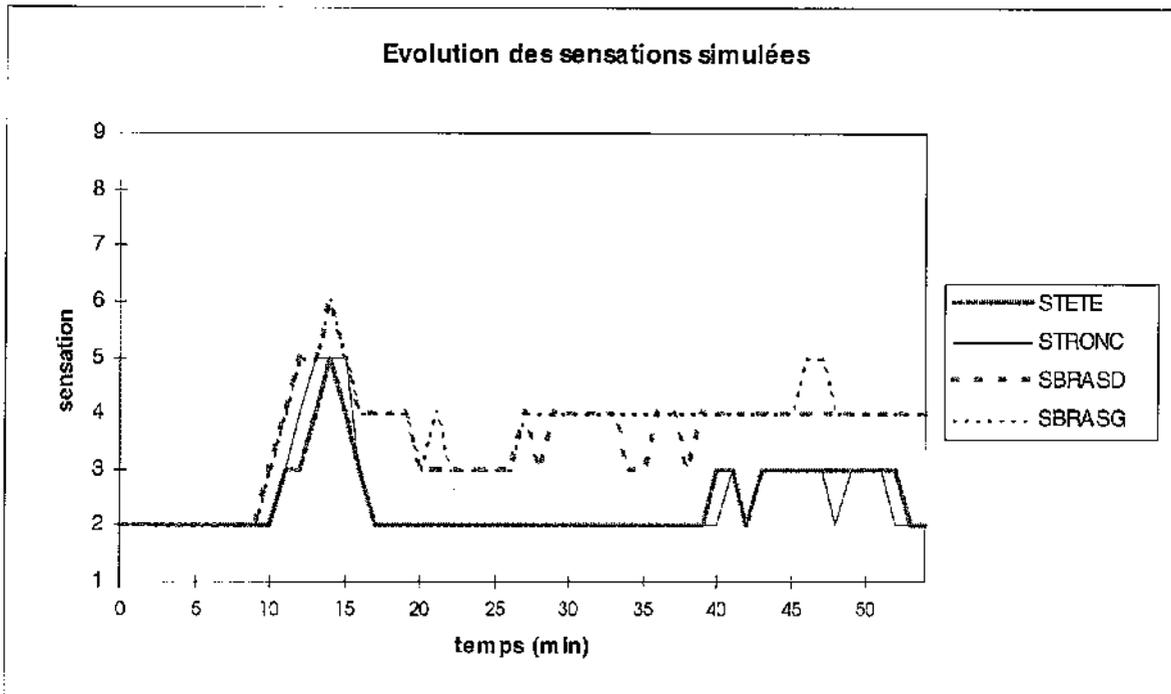
Essai n°4b



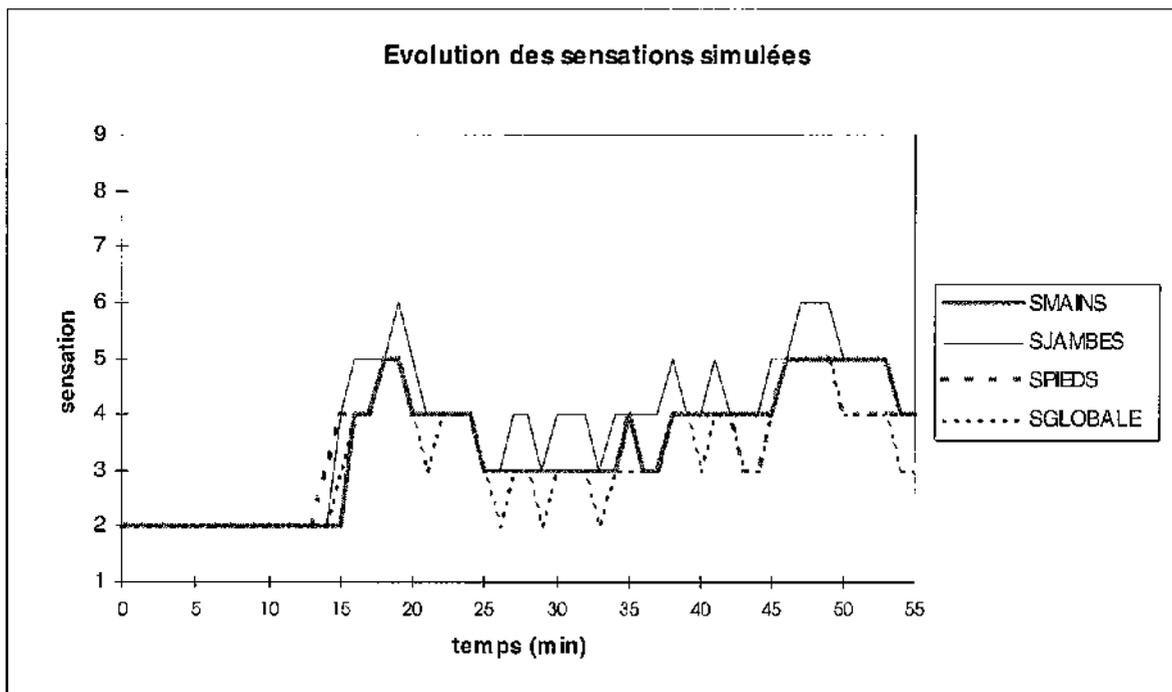
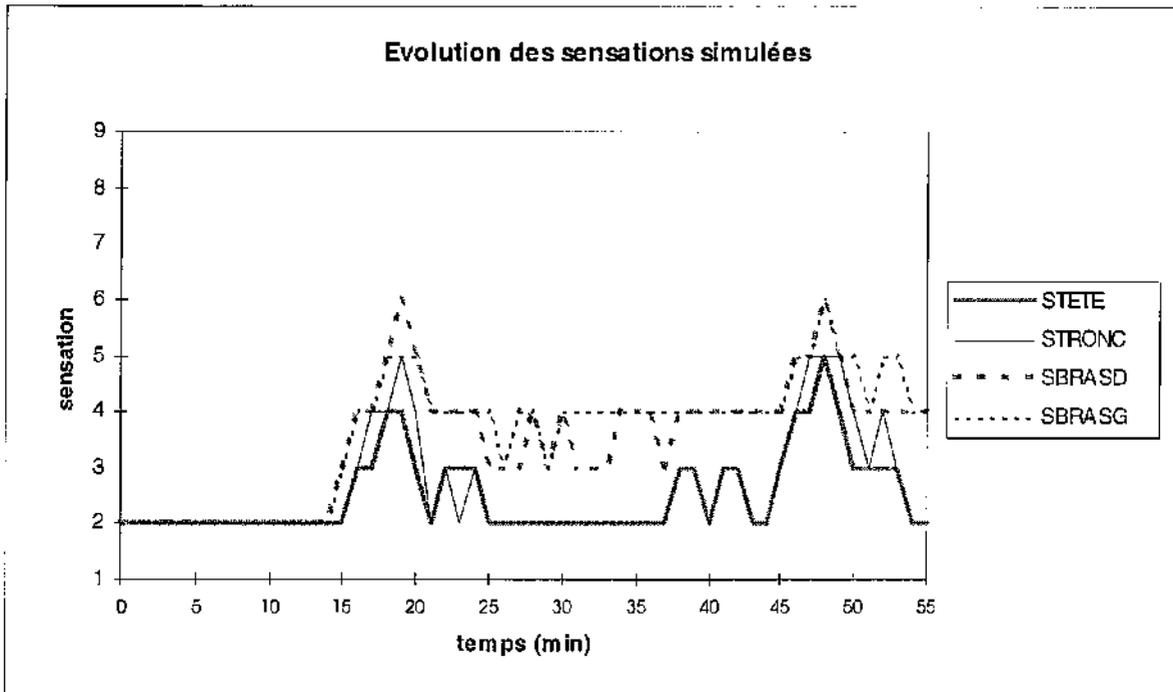
Essai n°5b



Essai n°16b



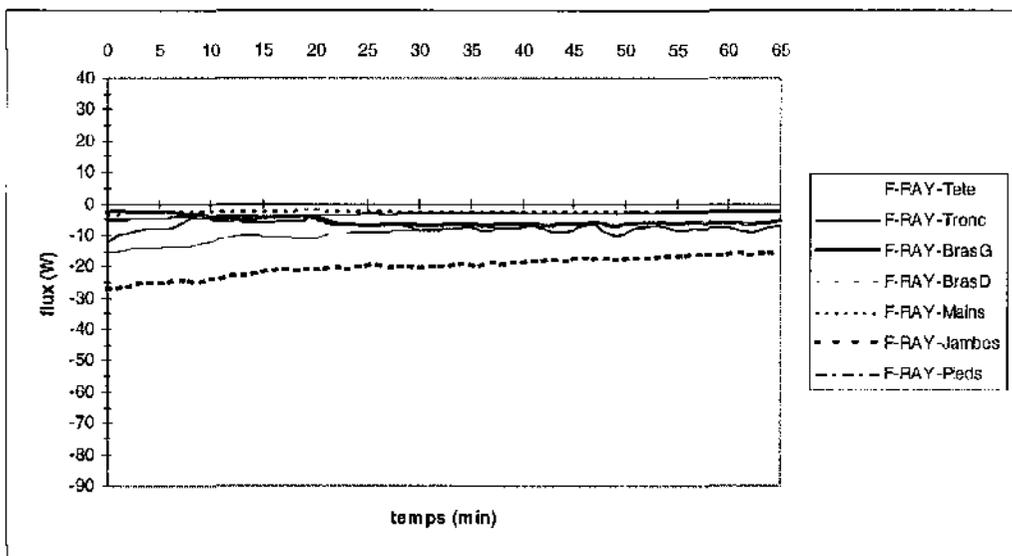
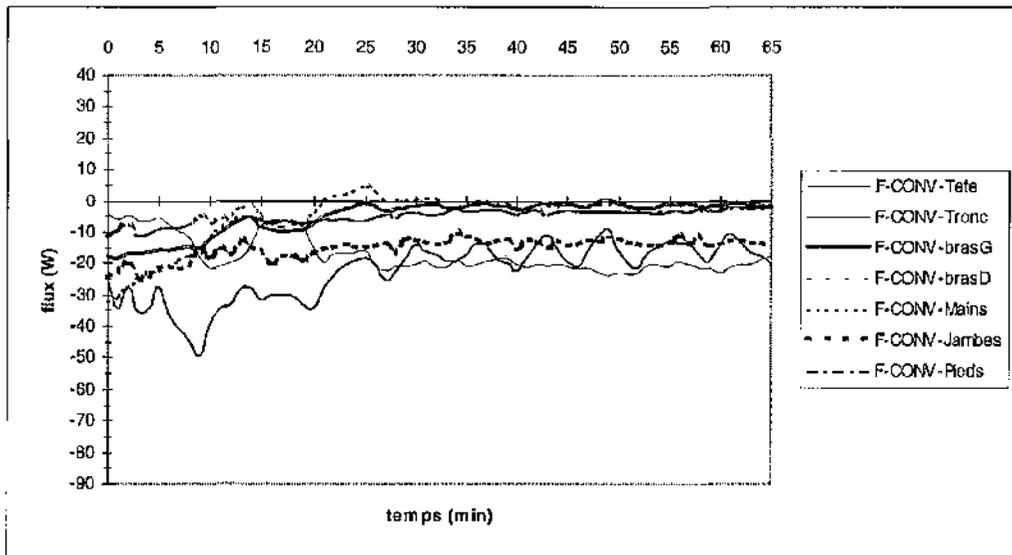
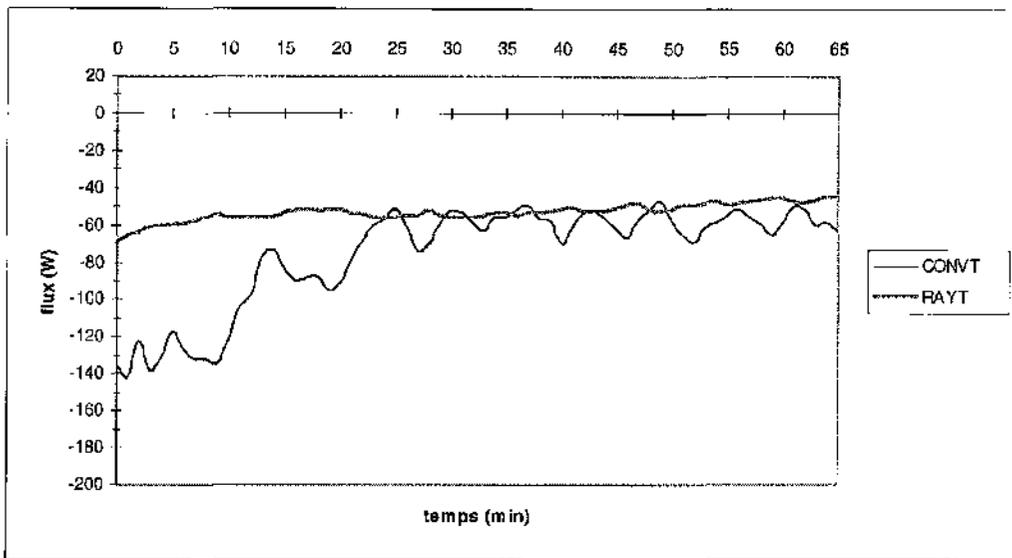
Essai n°17b



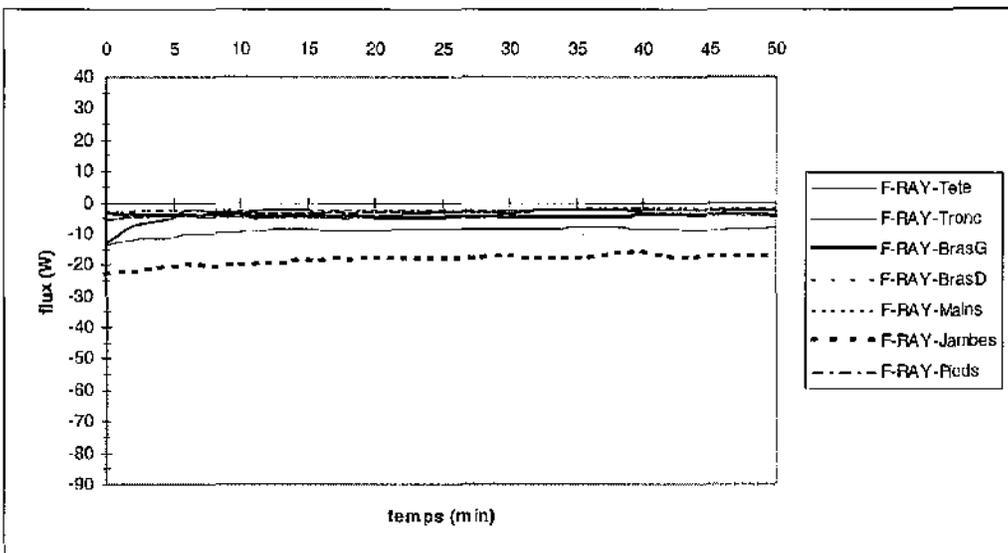
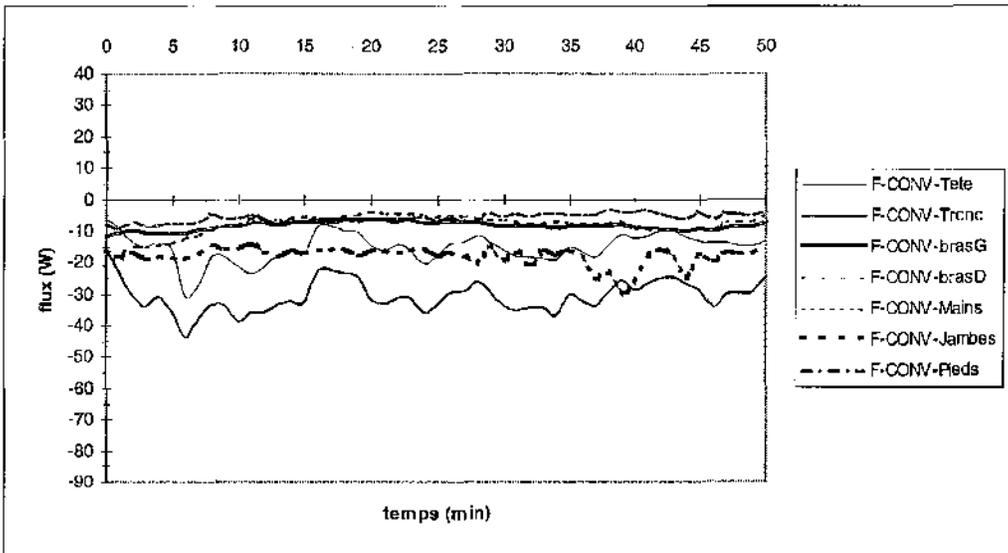
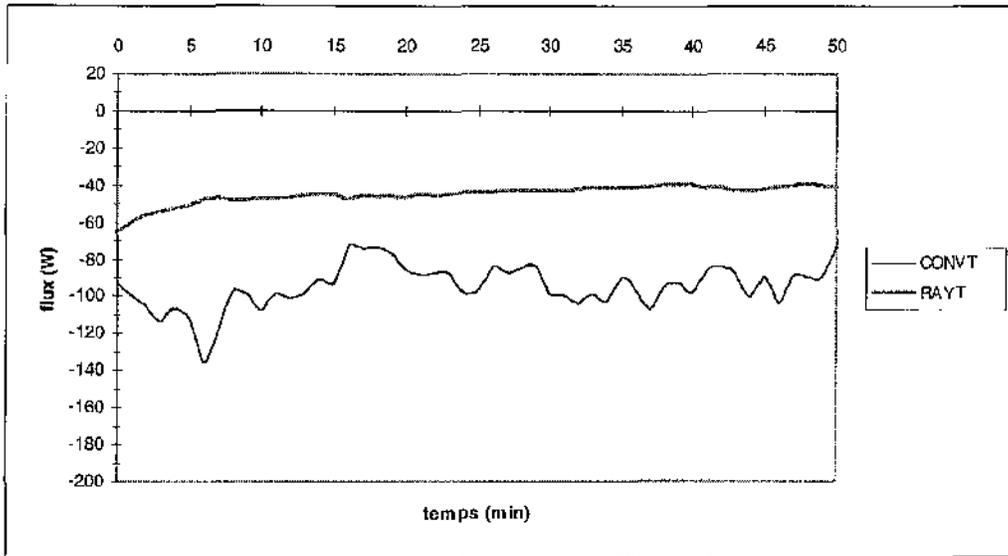
ANNEXE B

Flux simulés pour tous les essais

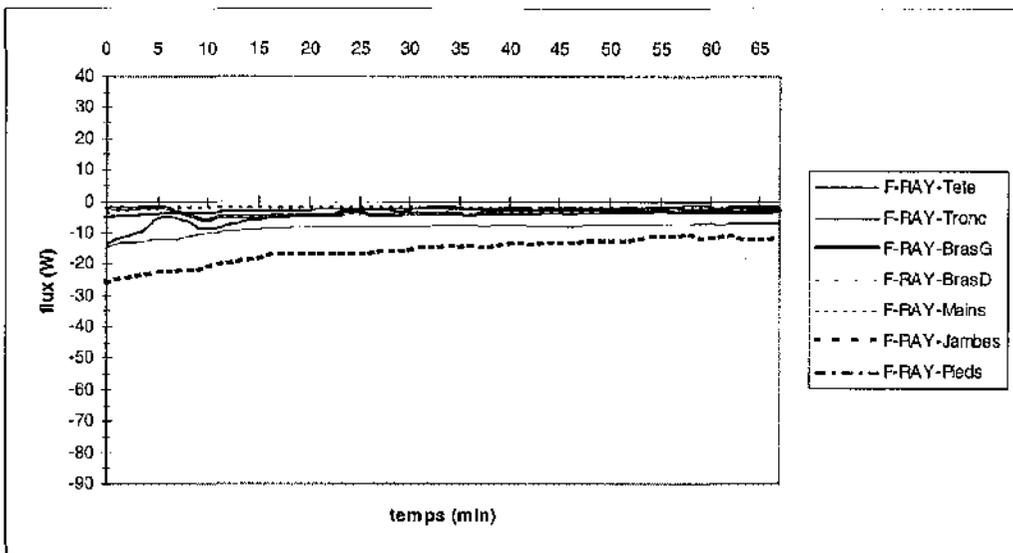
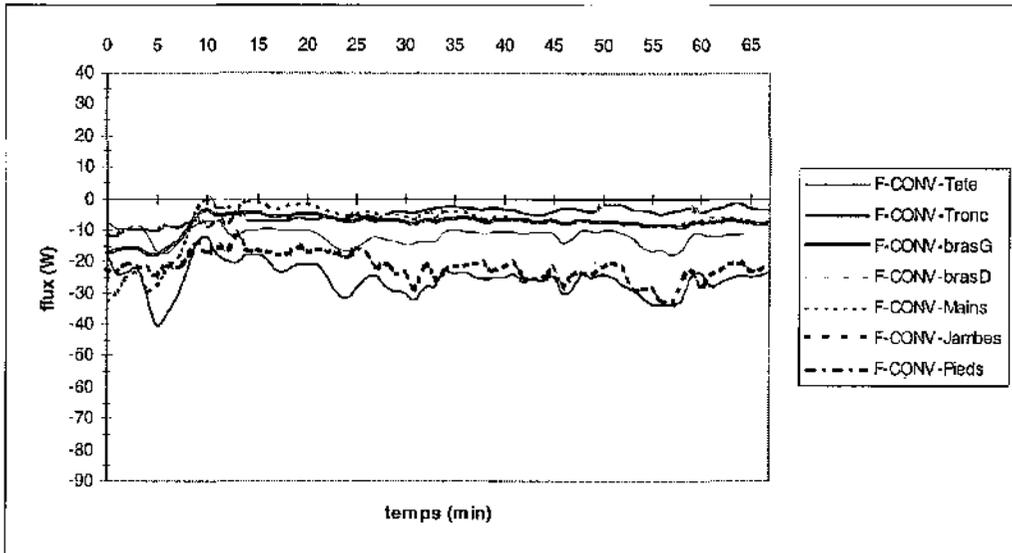
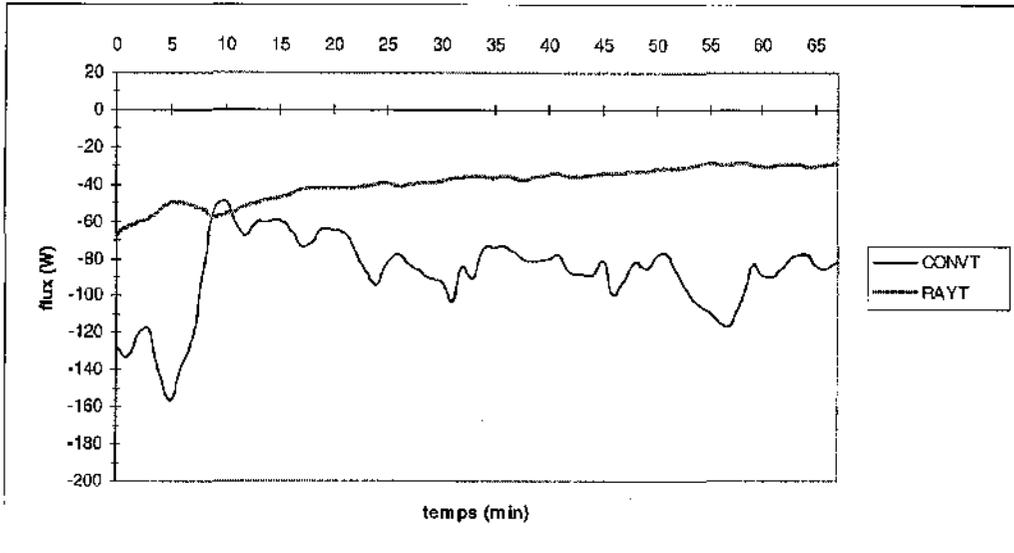
Essai n°1



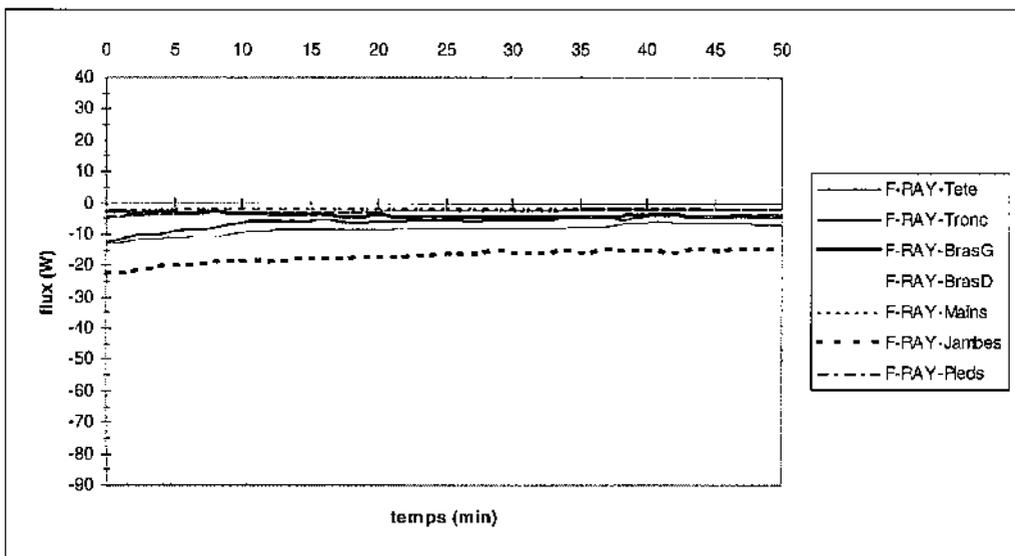
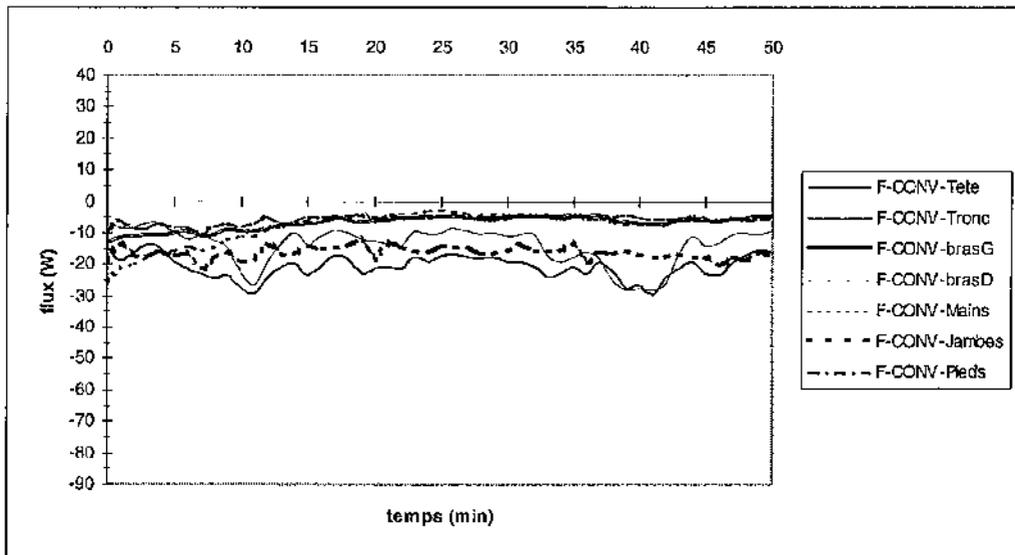
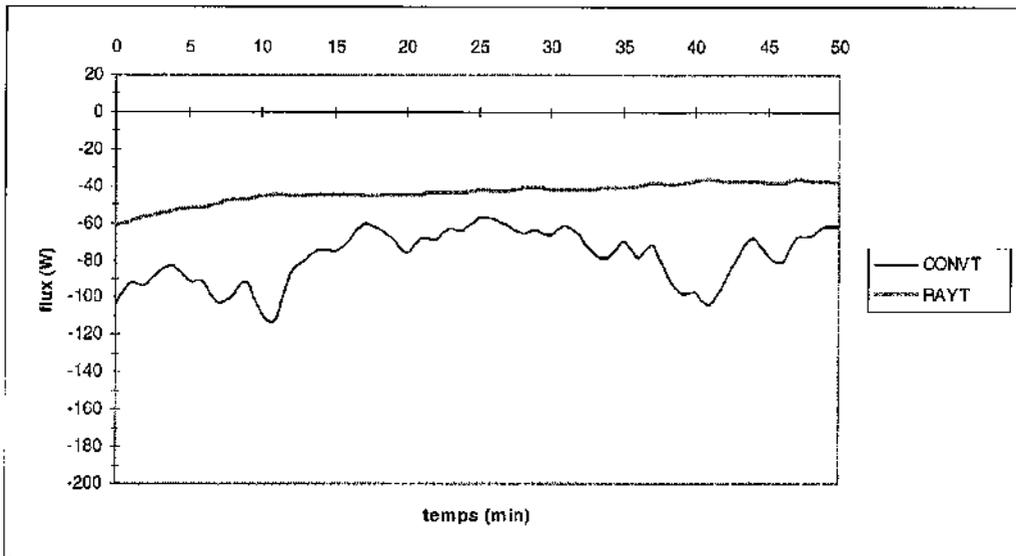
Essai n°2



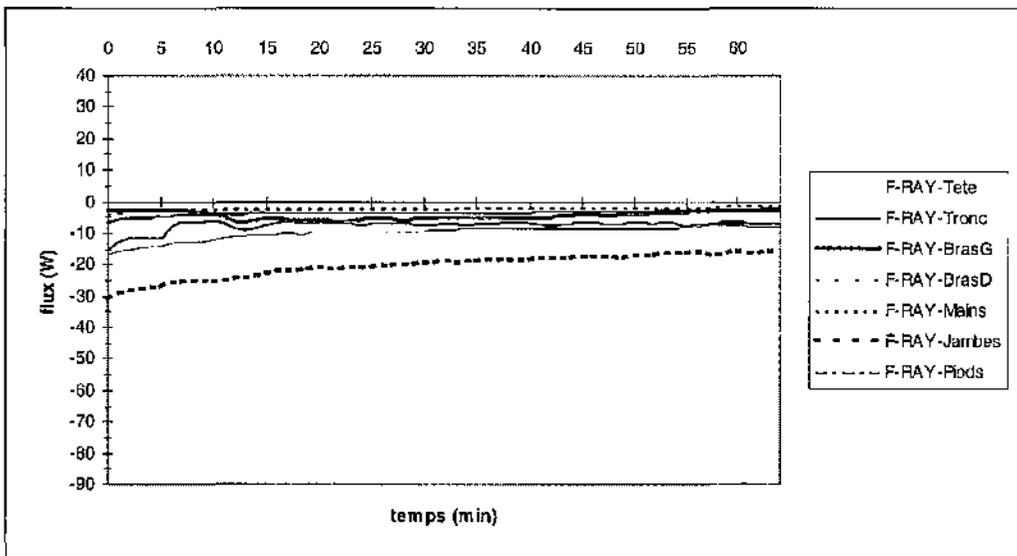
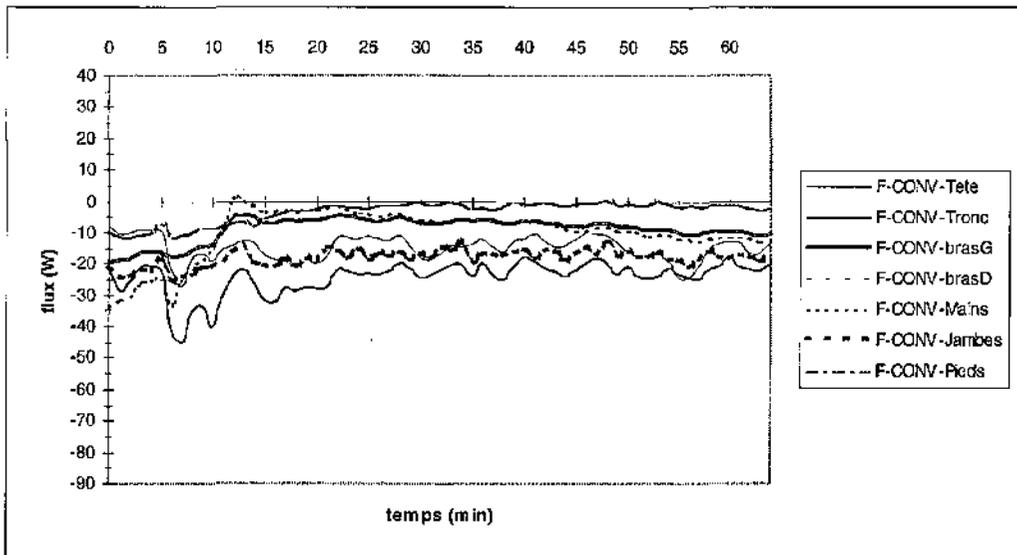
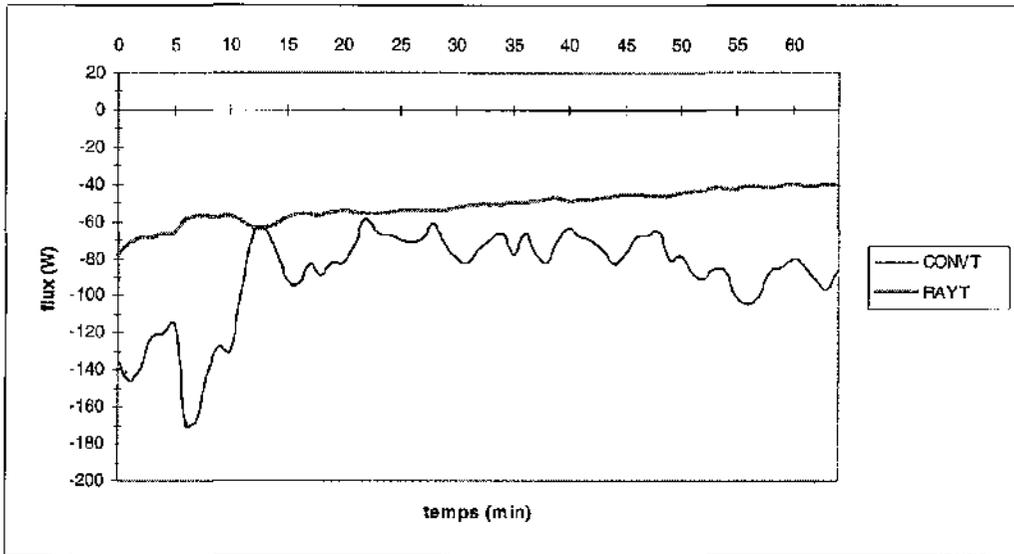
Essai n°3



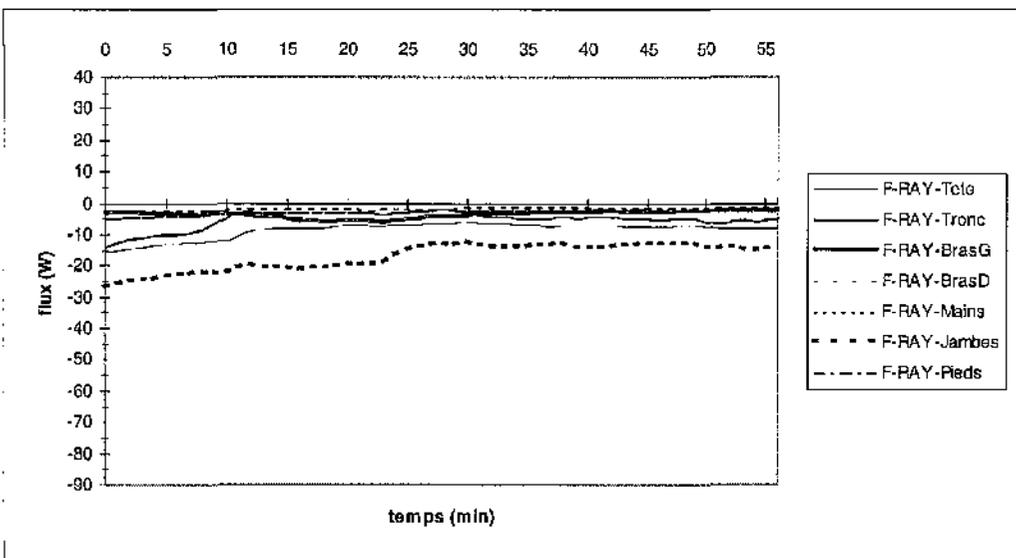
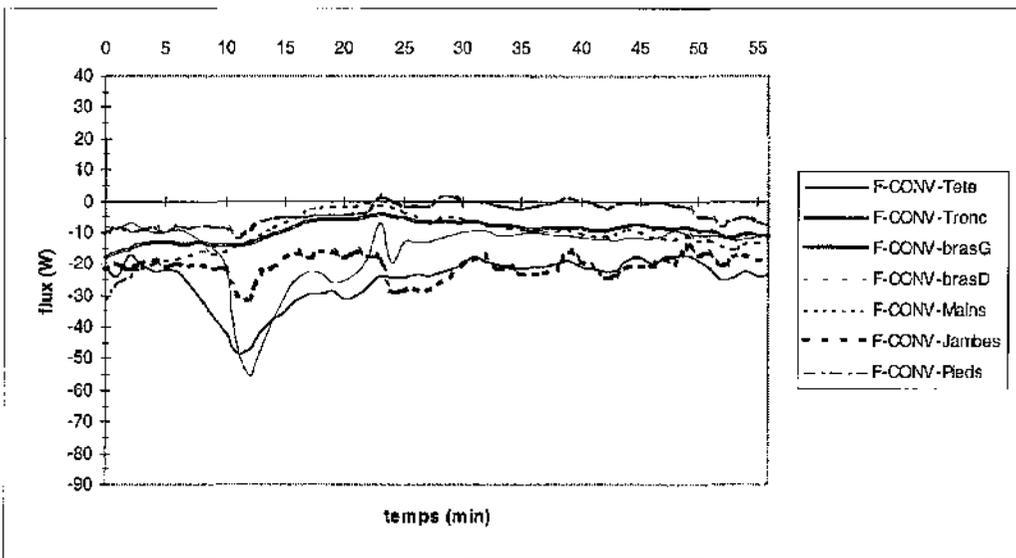
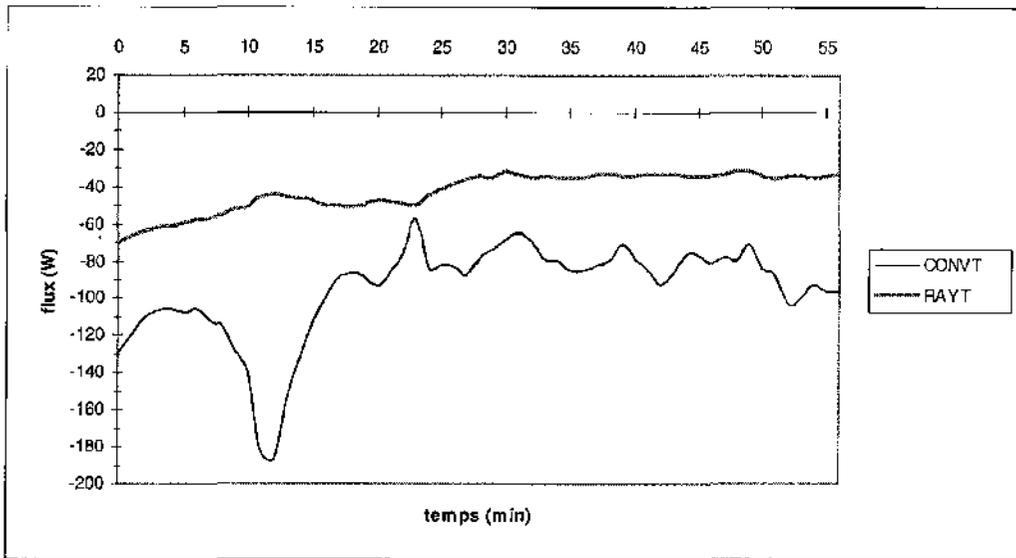
Essai n°4



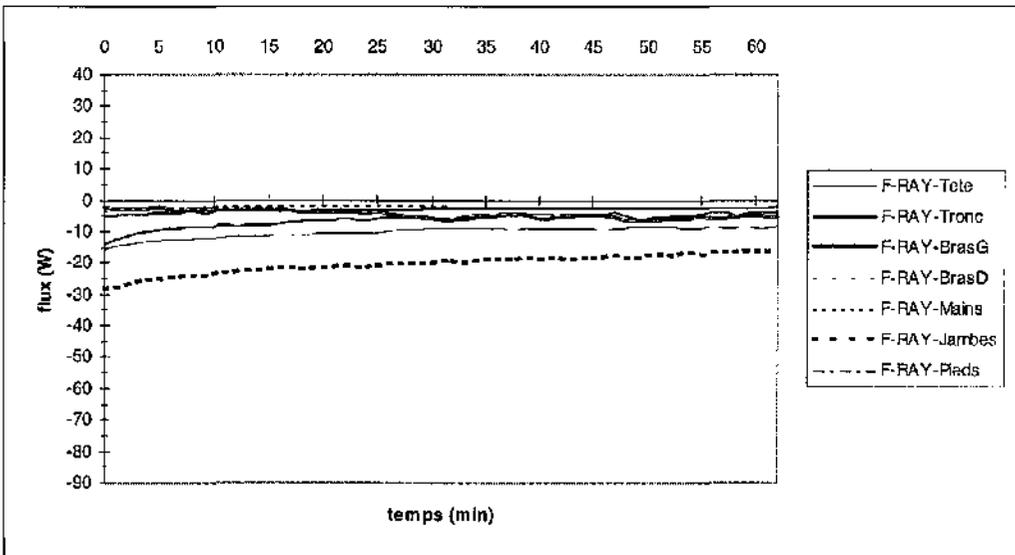
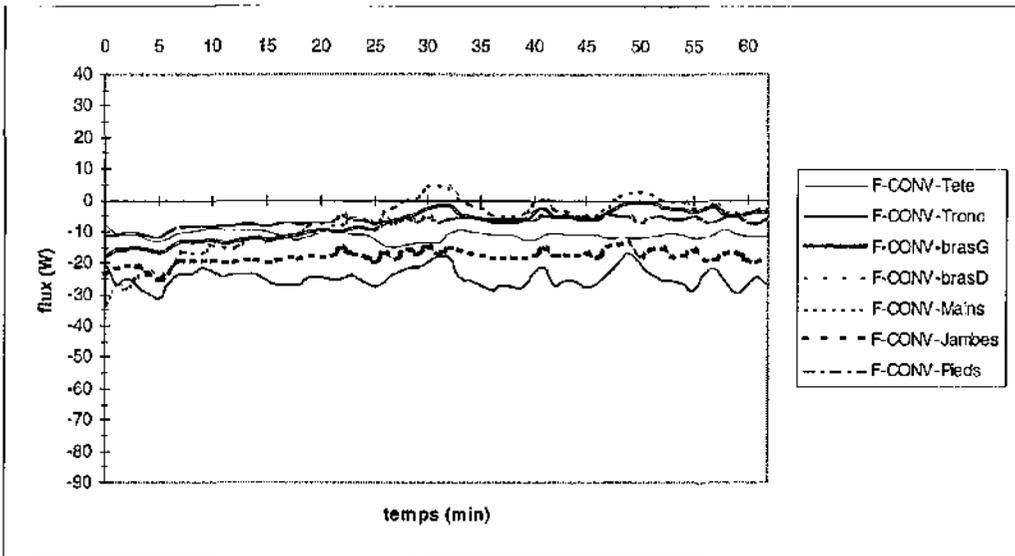
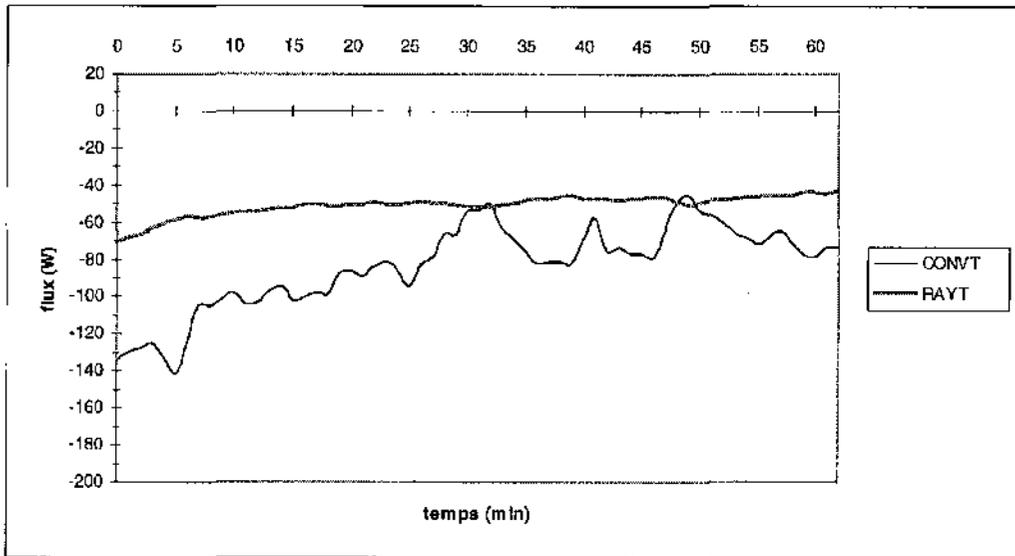
Essai n°5



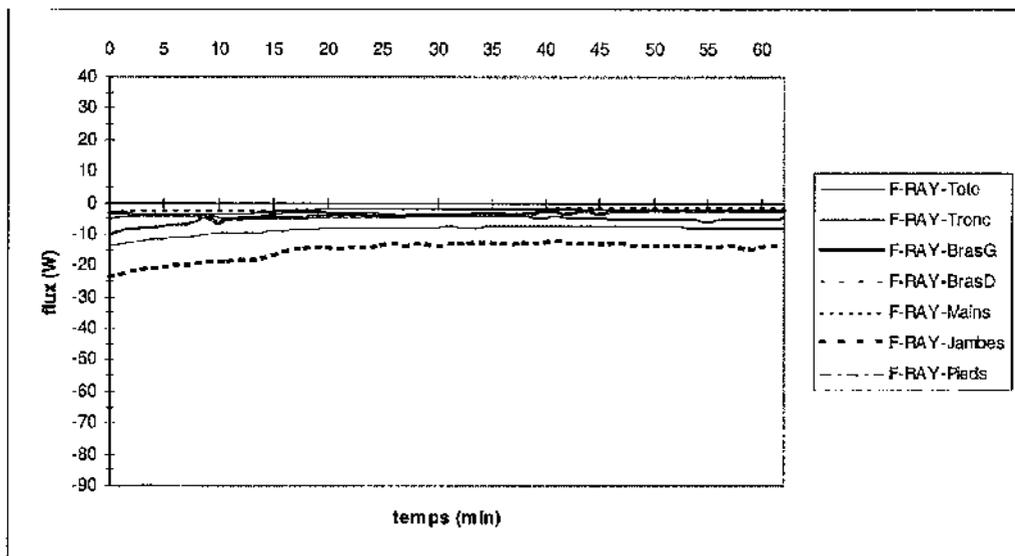
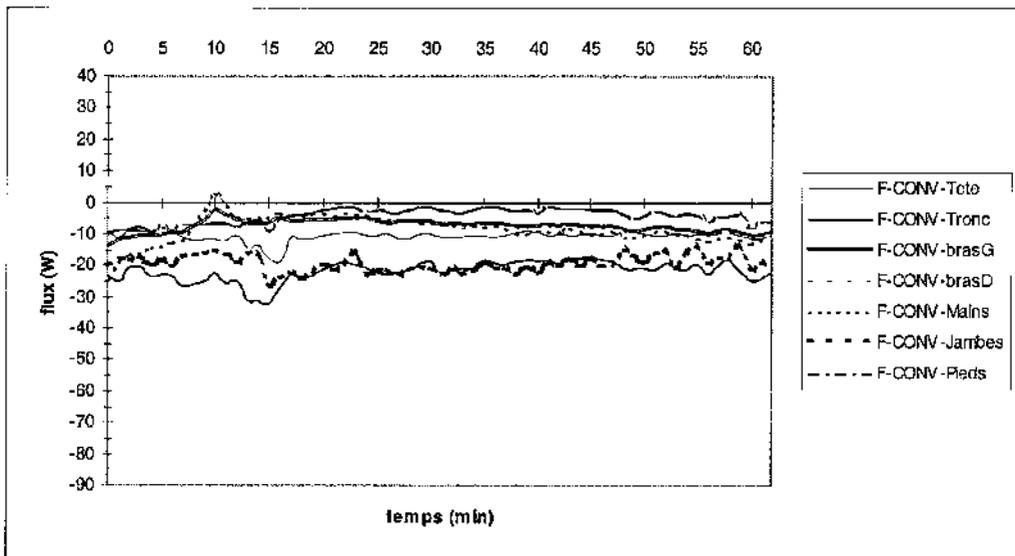
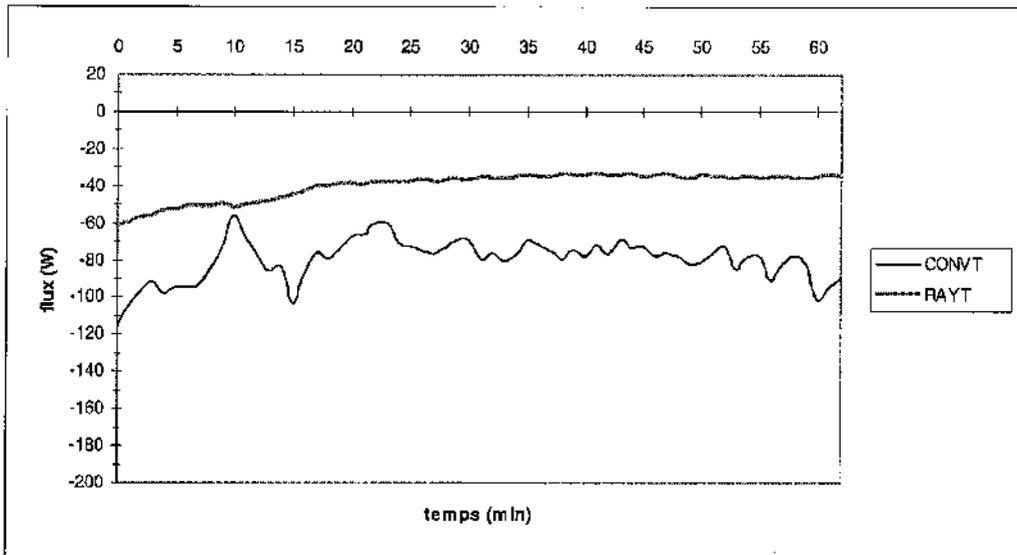
Essai n°6



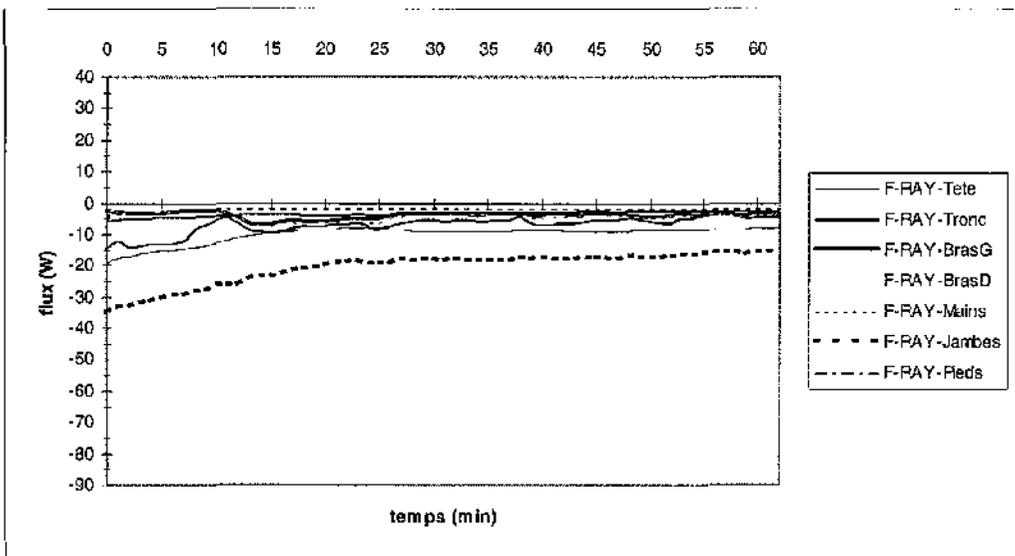
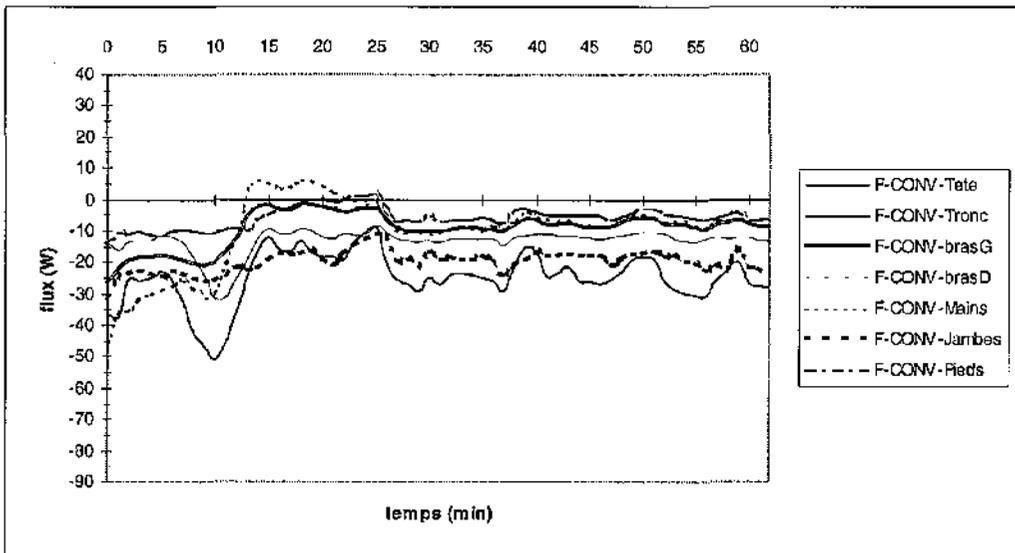
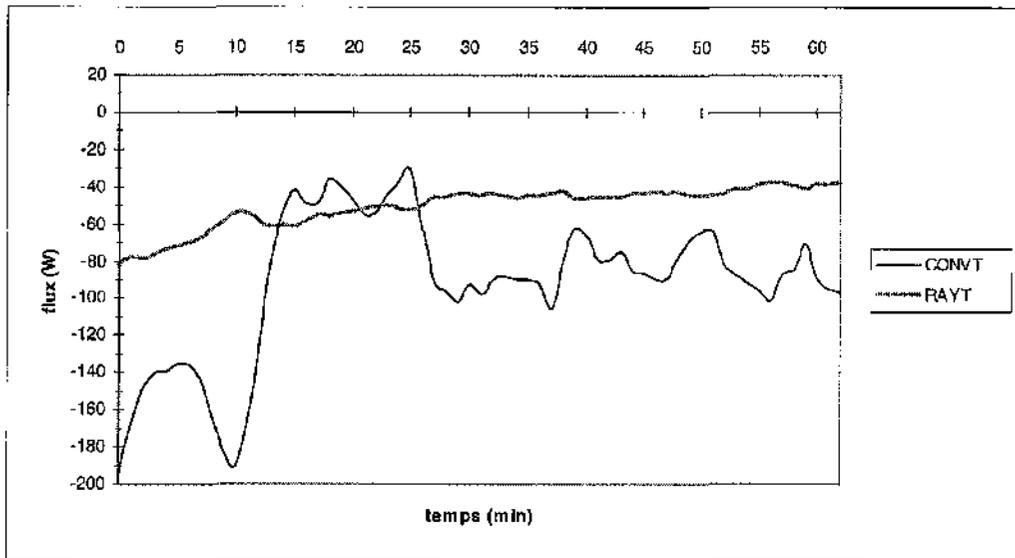
Essai n°7



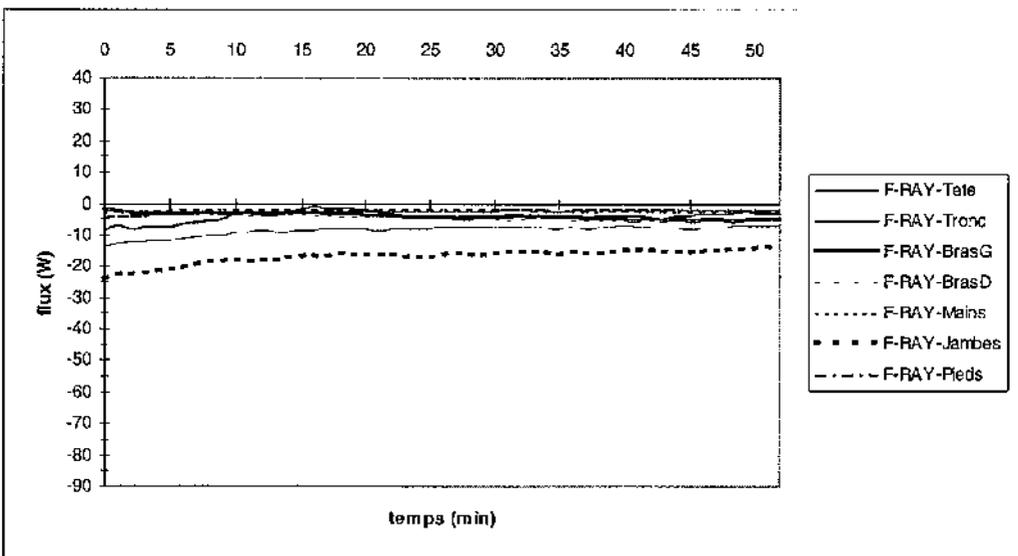
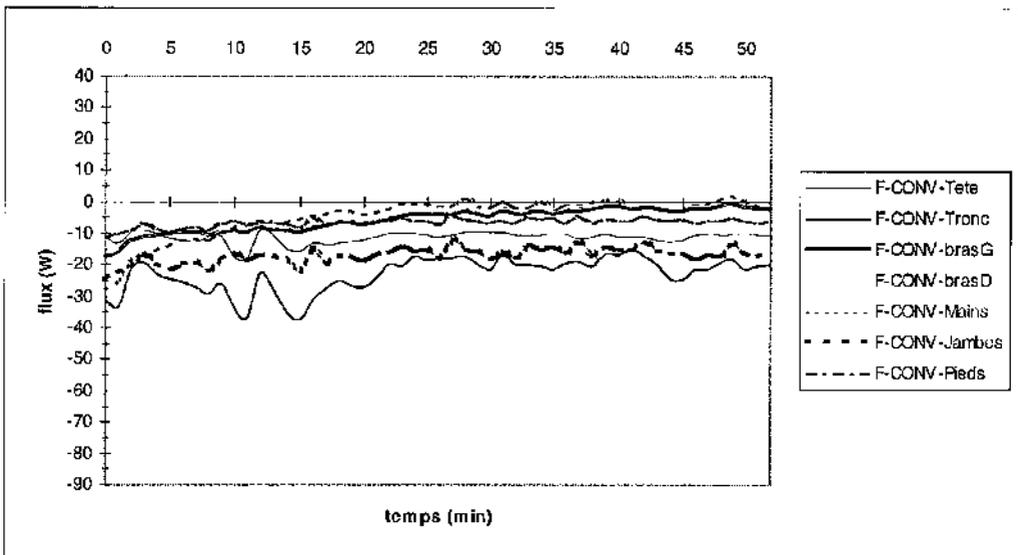
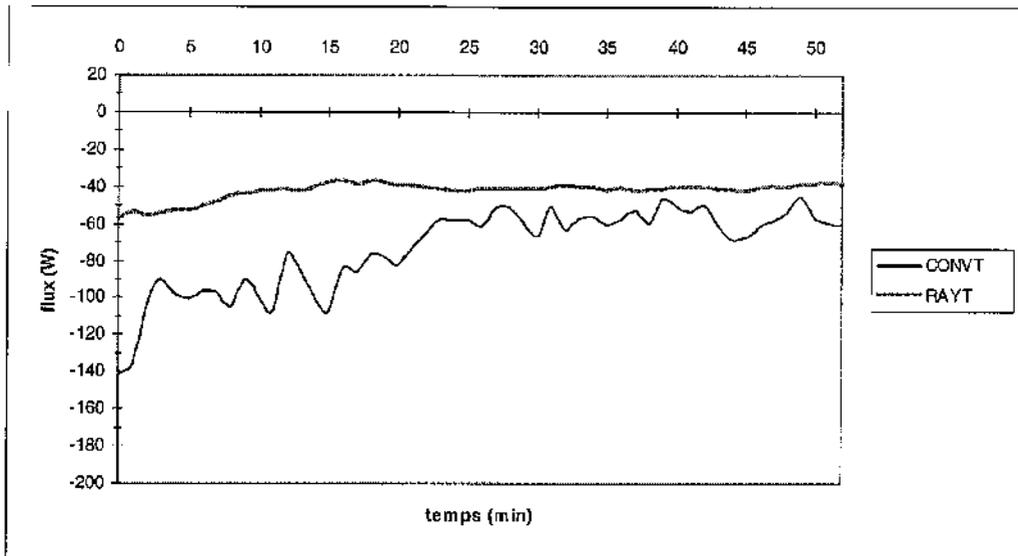
Essai n°8



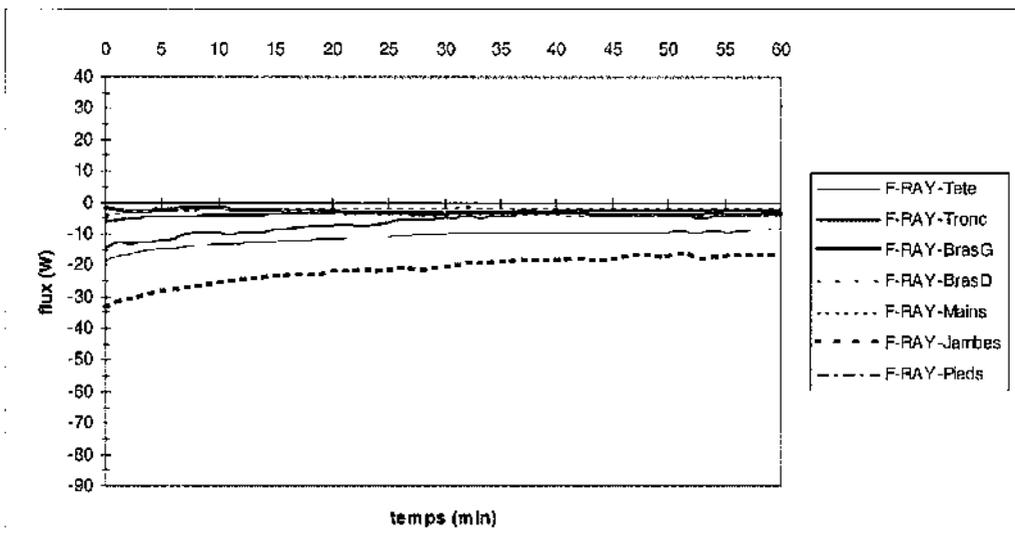
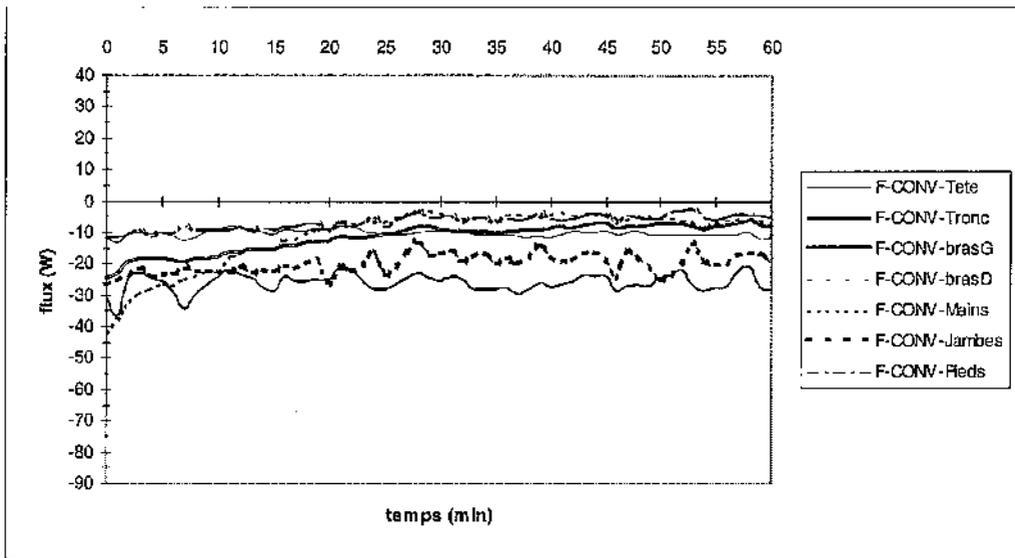
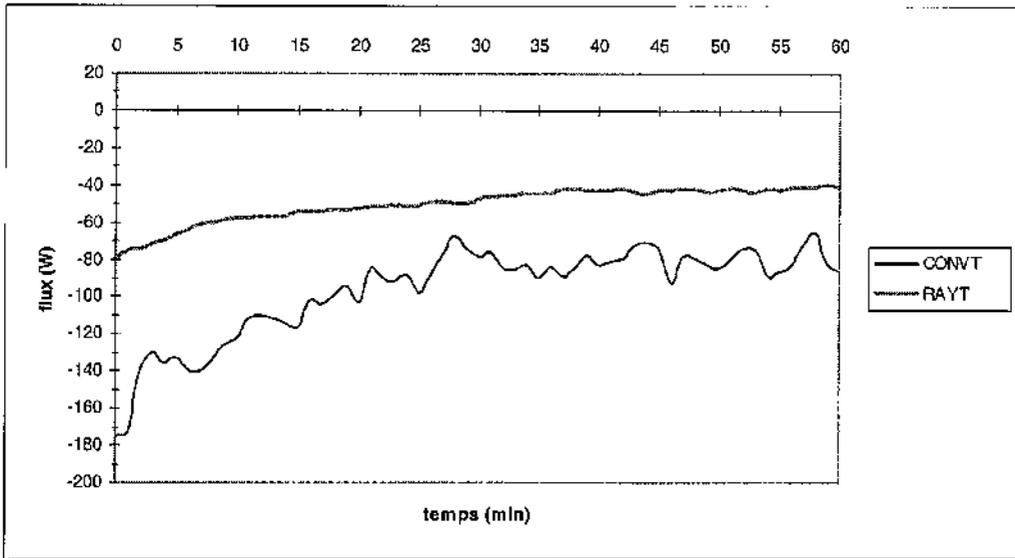
Essai n°9



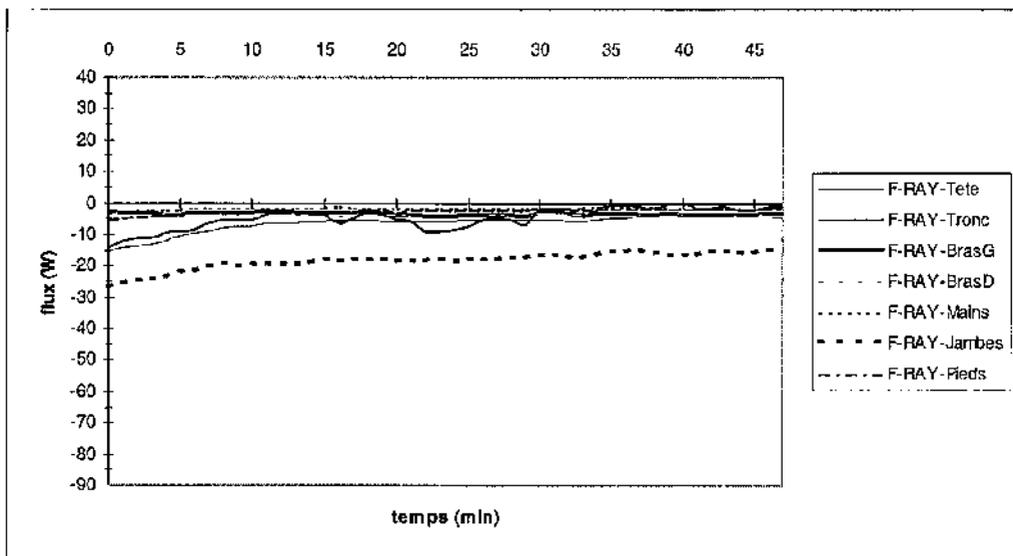
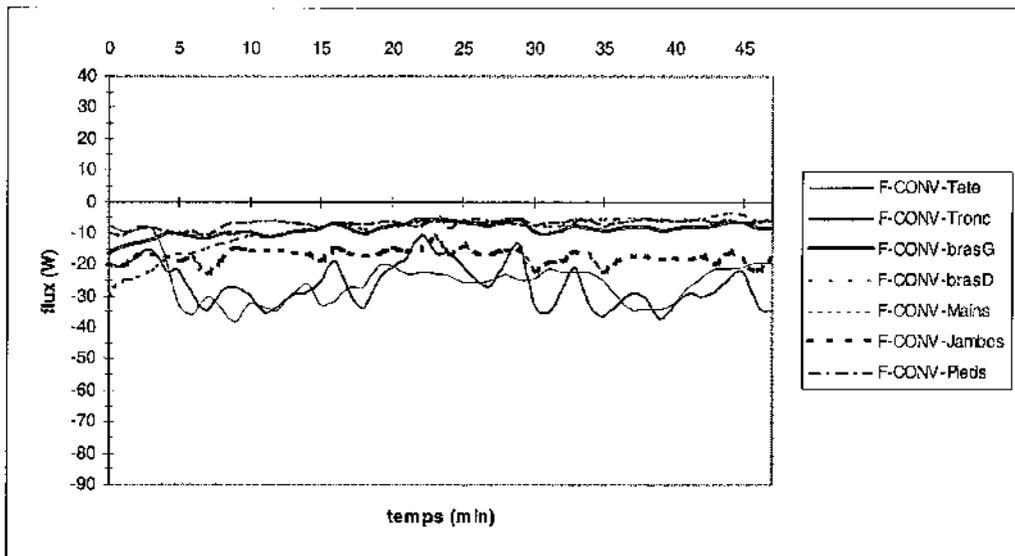
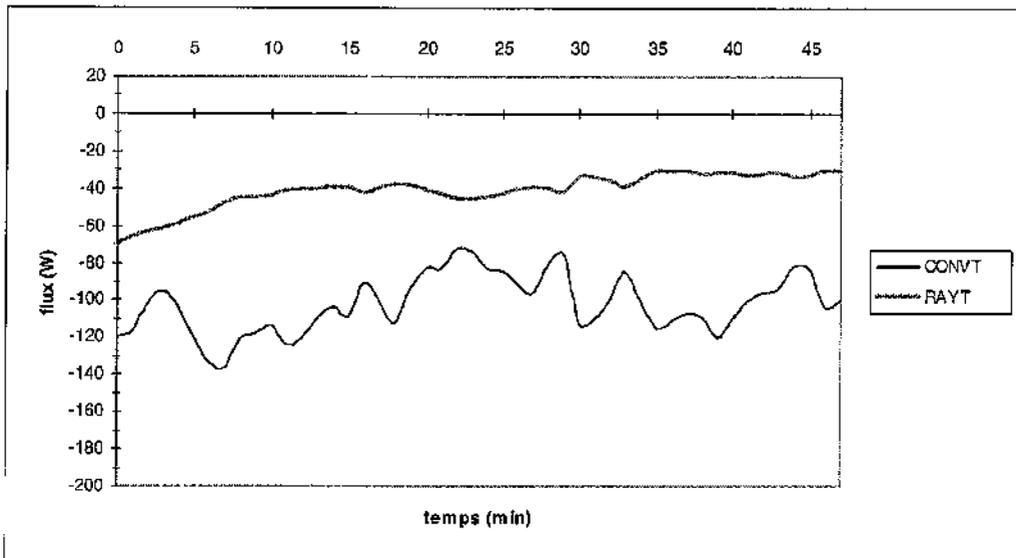
Essai n°10



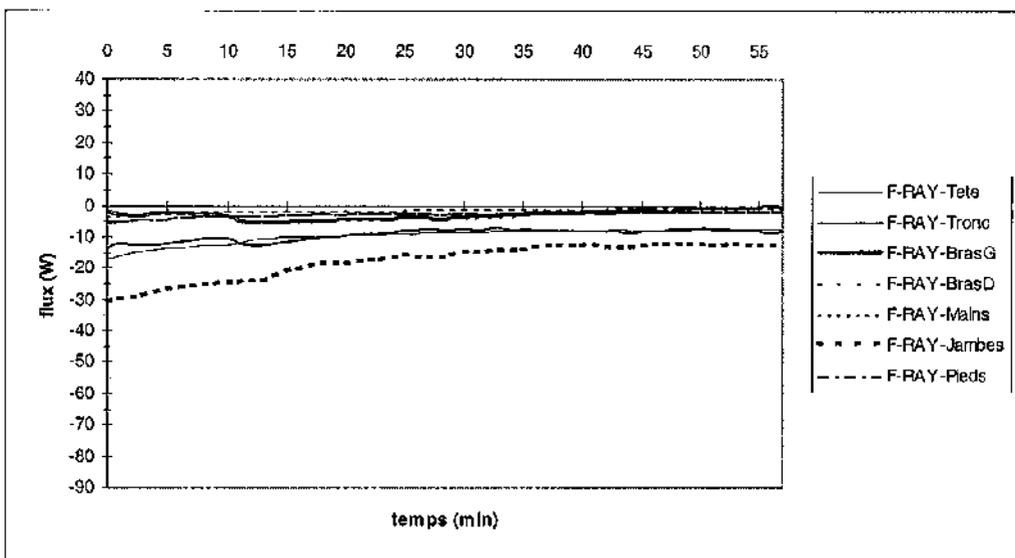
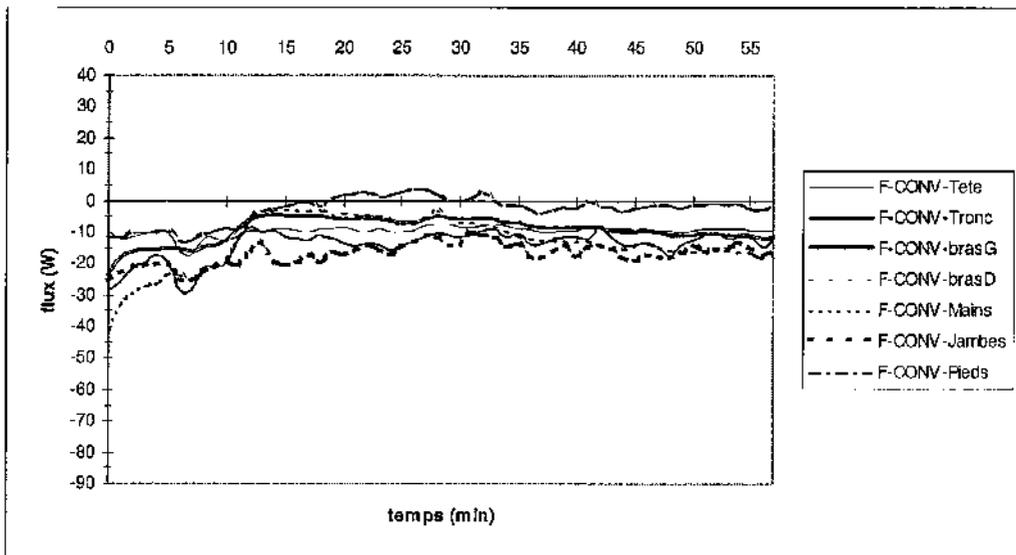
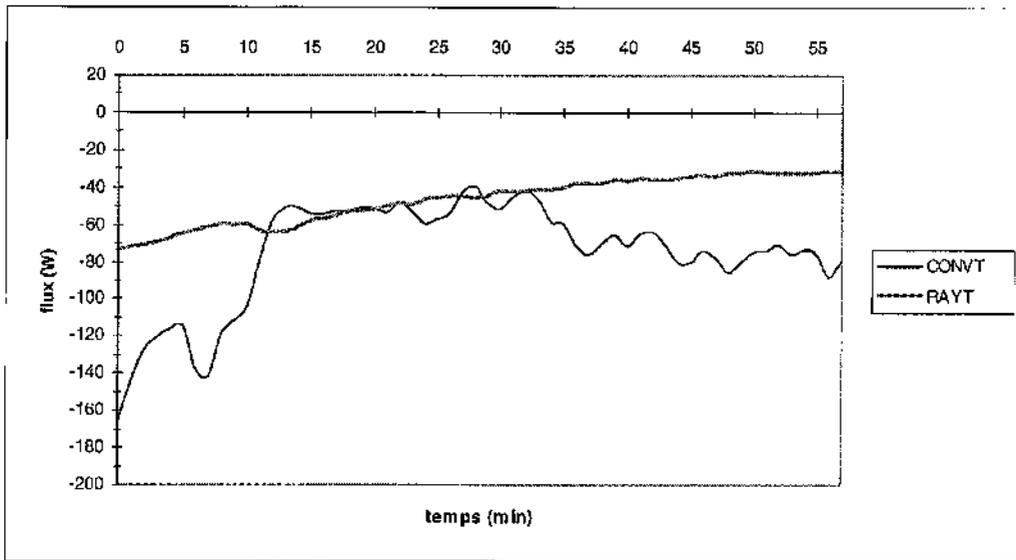
Essai n°11



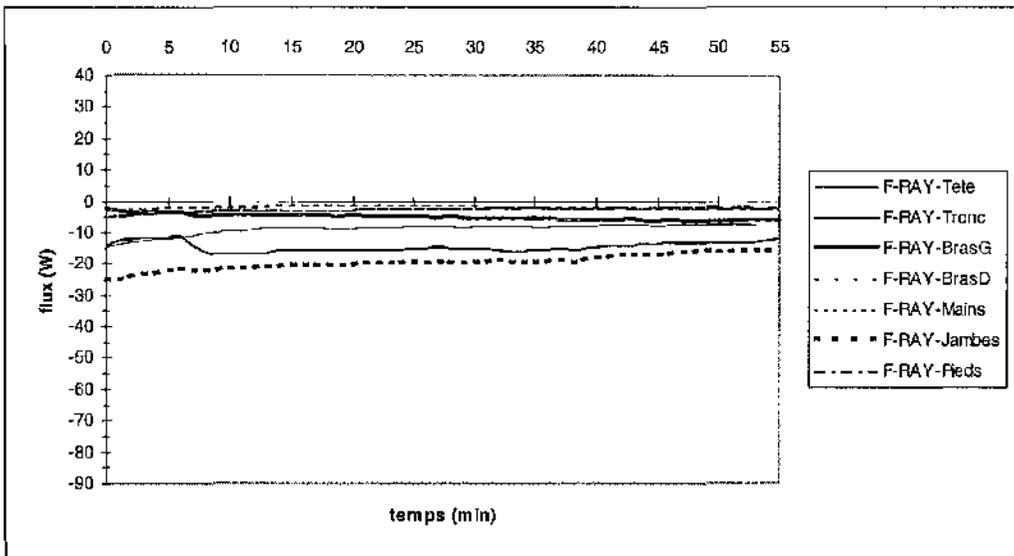
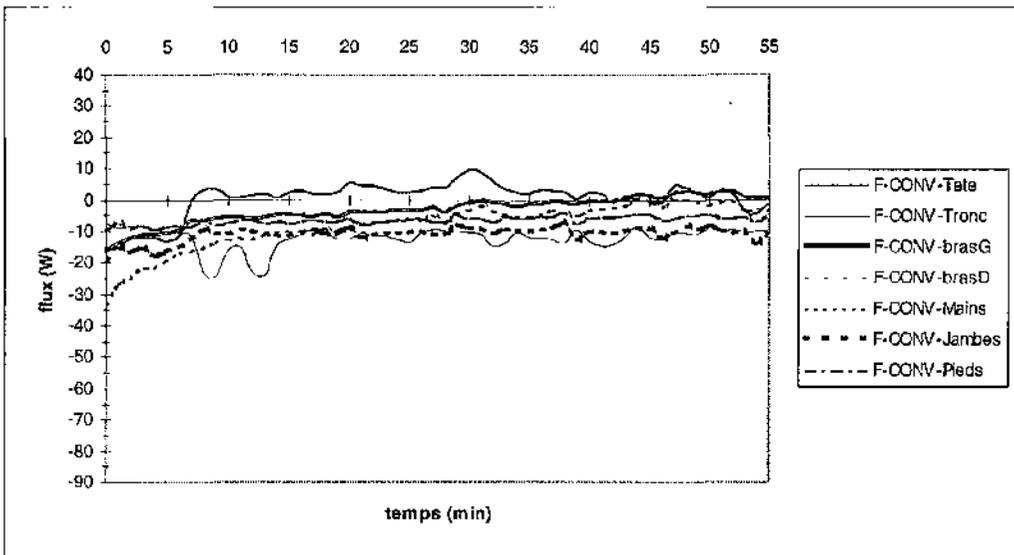
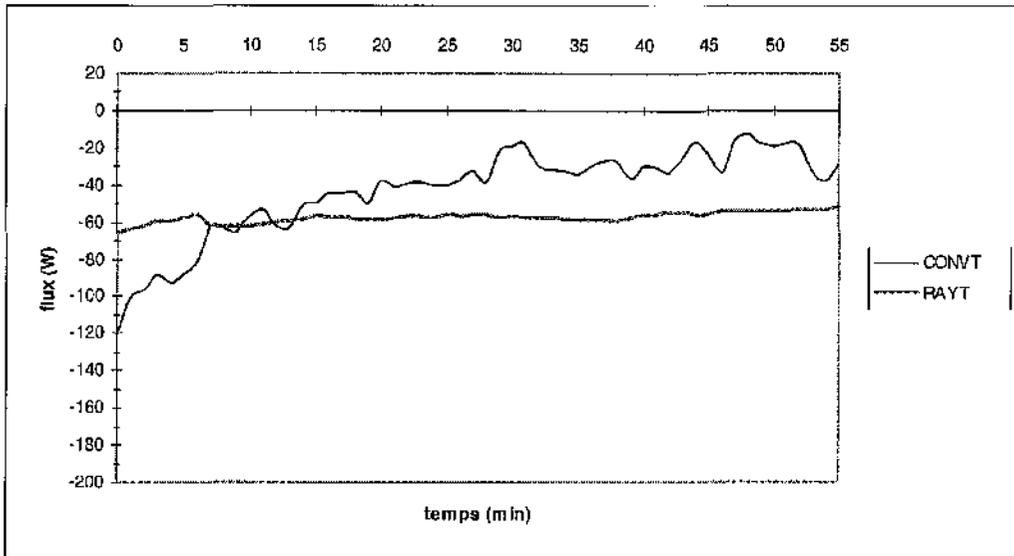
Essai n°12



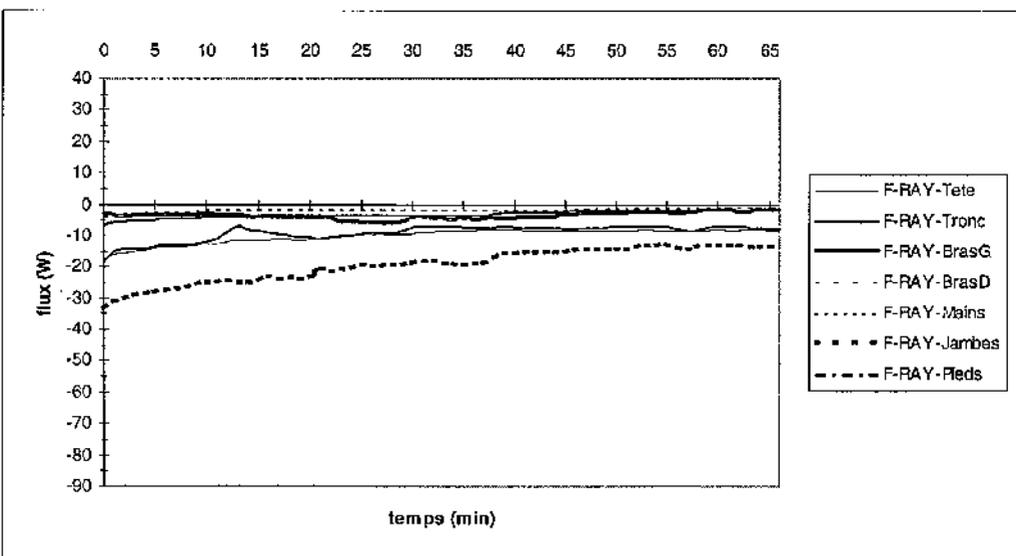
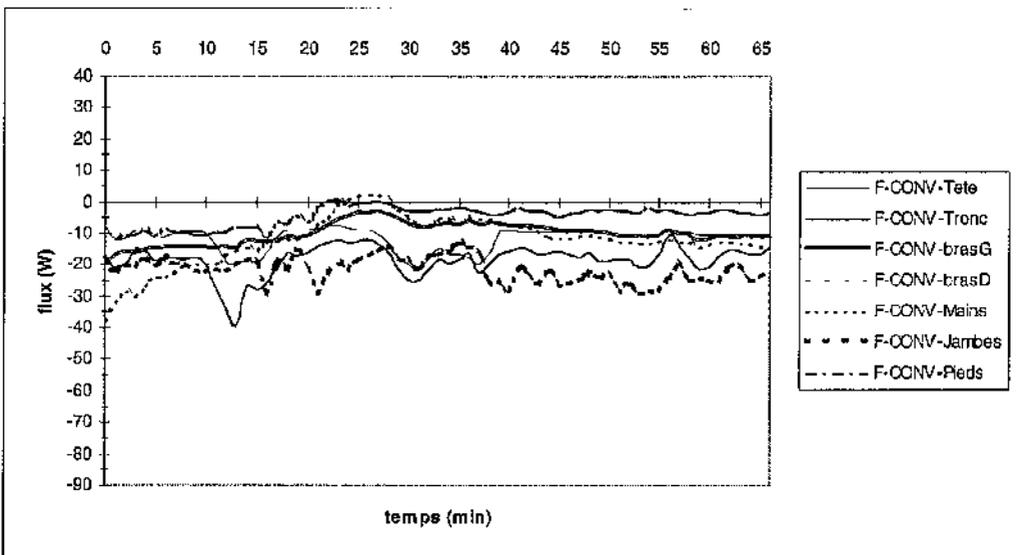
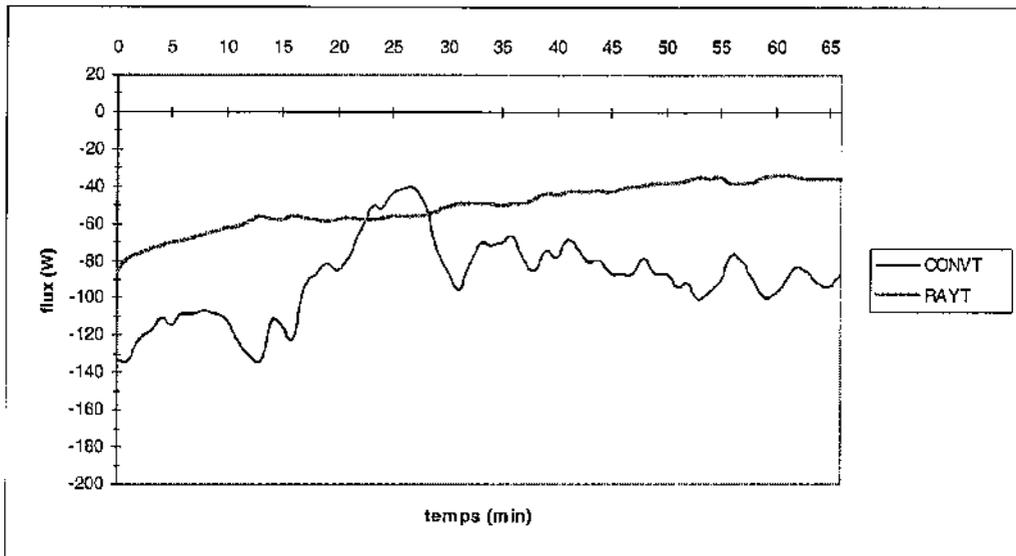
Essai n°13



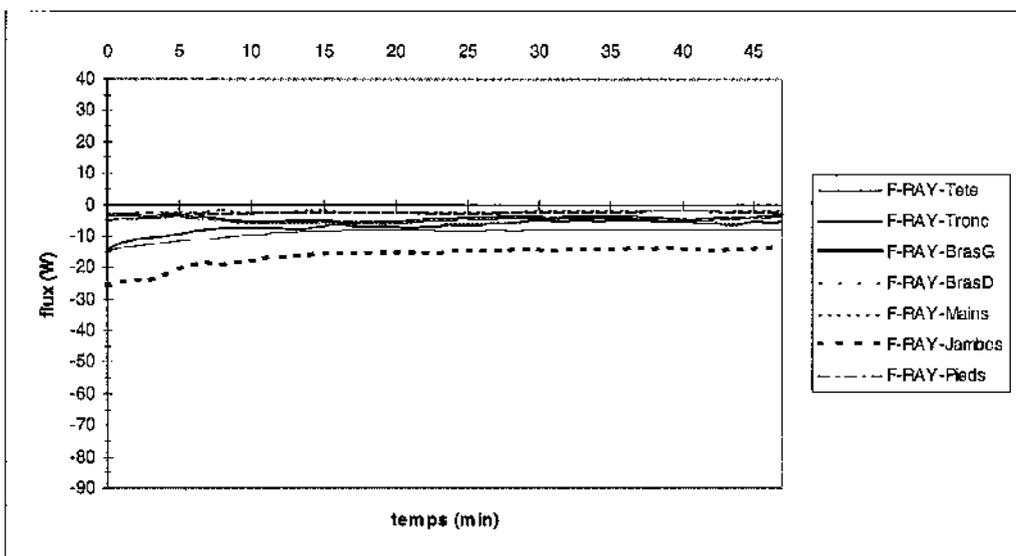
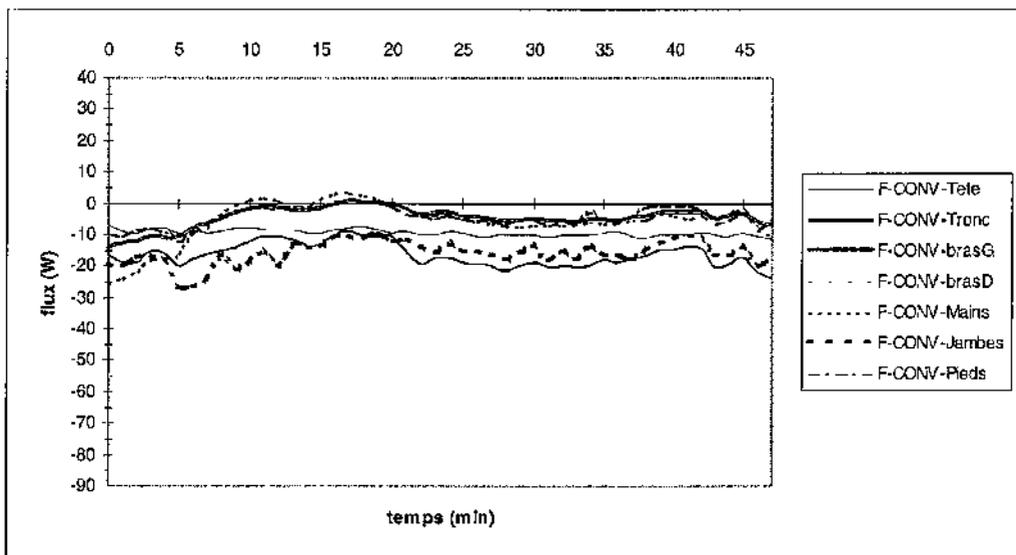
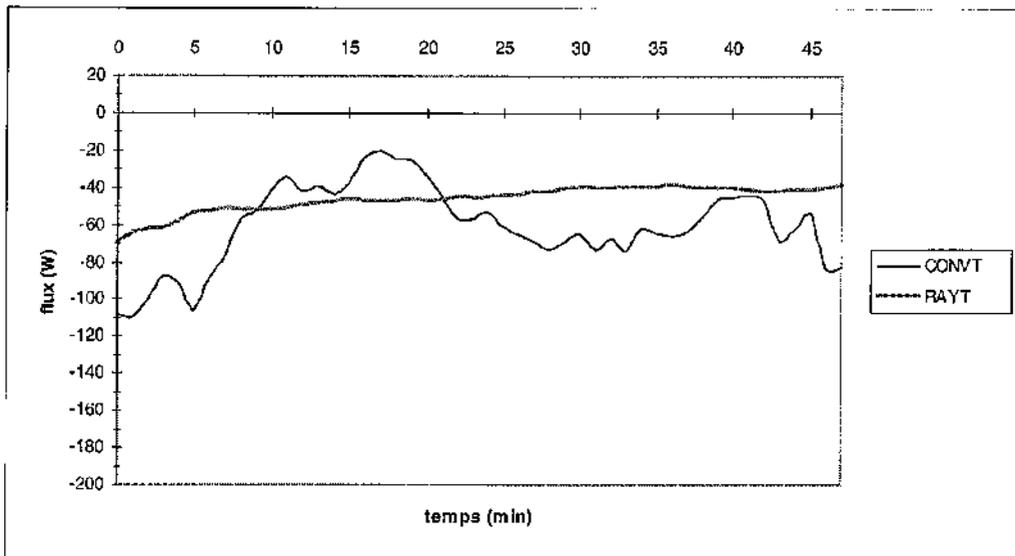
Essai n°14



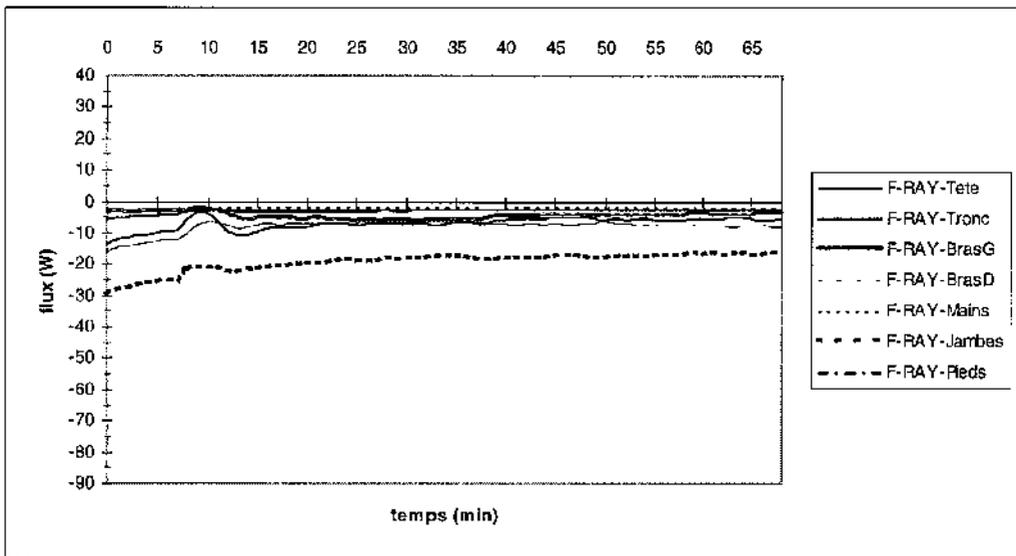
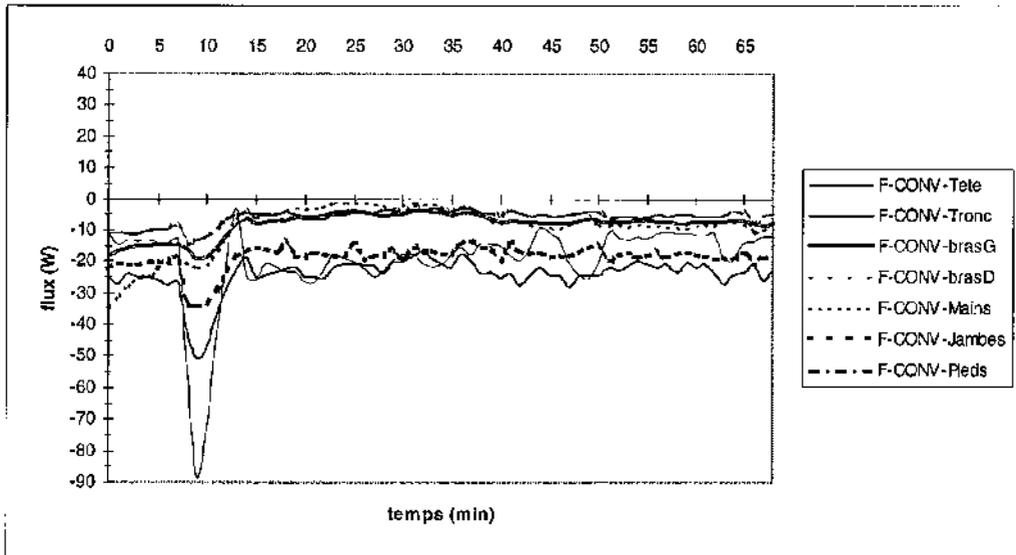
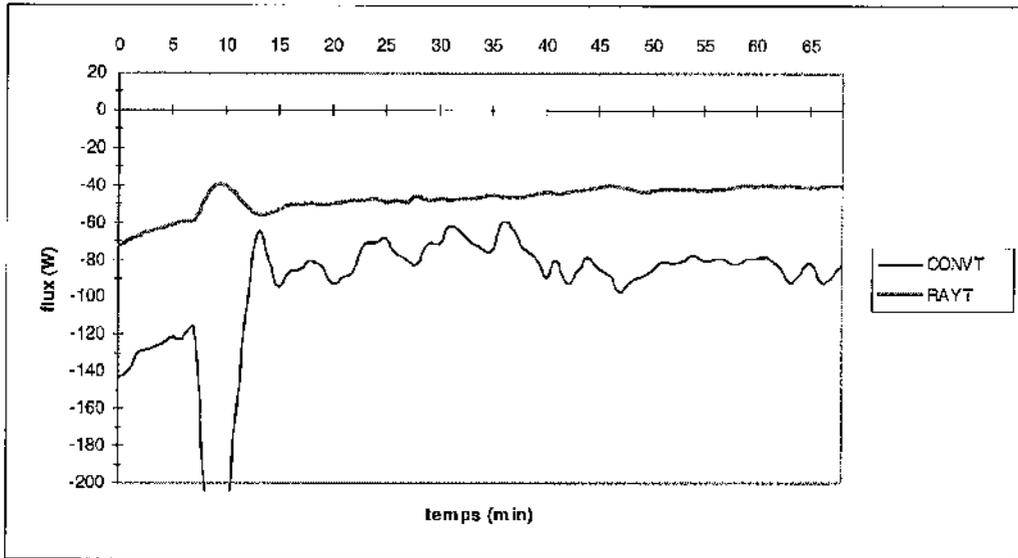
Essai n°15



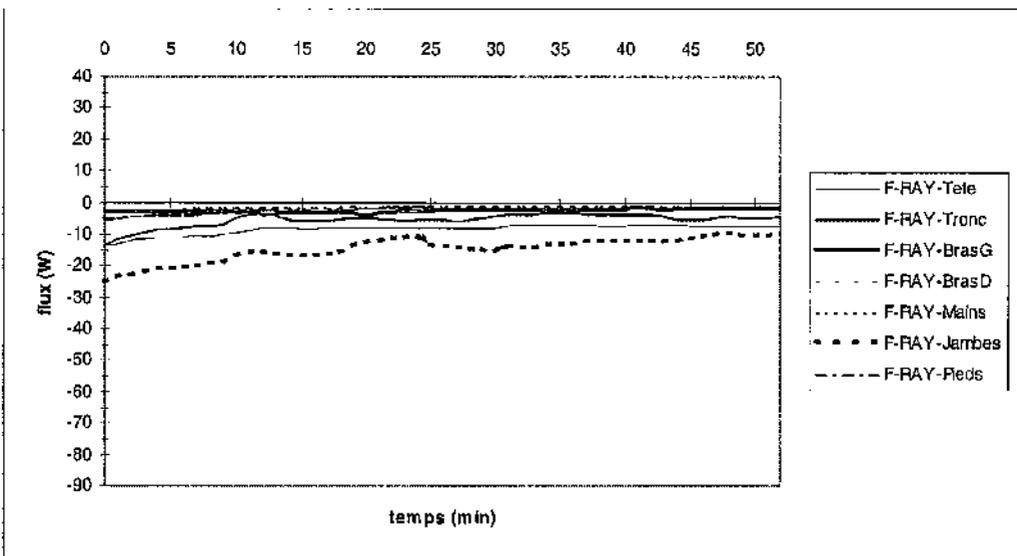
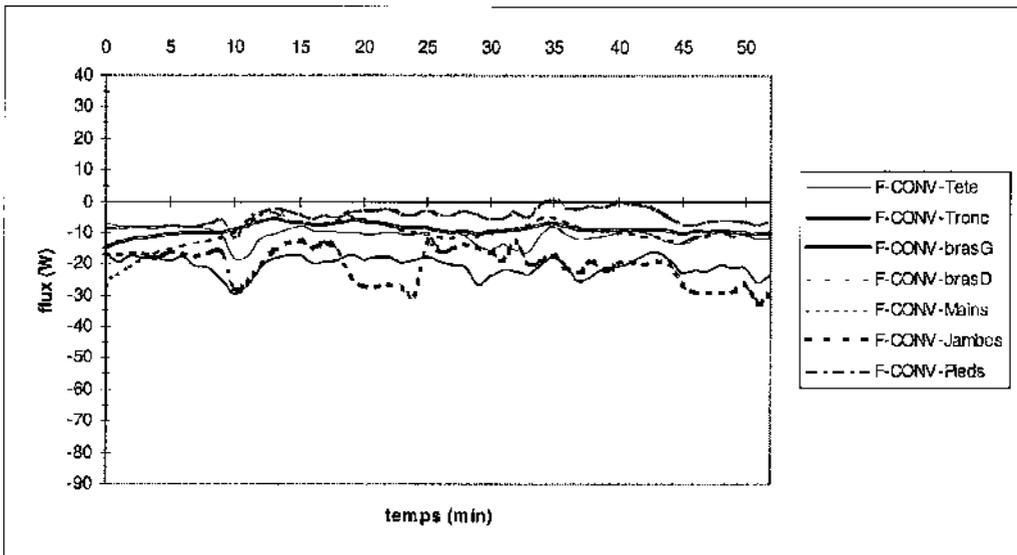
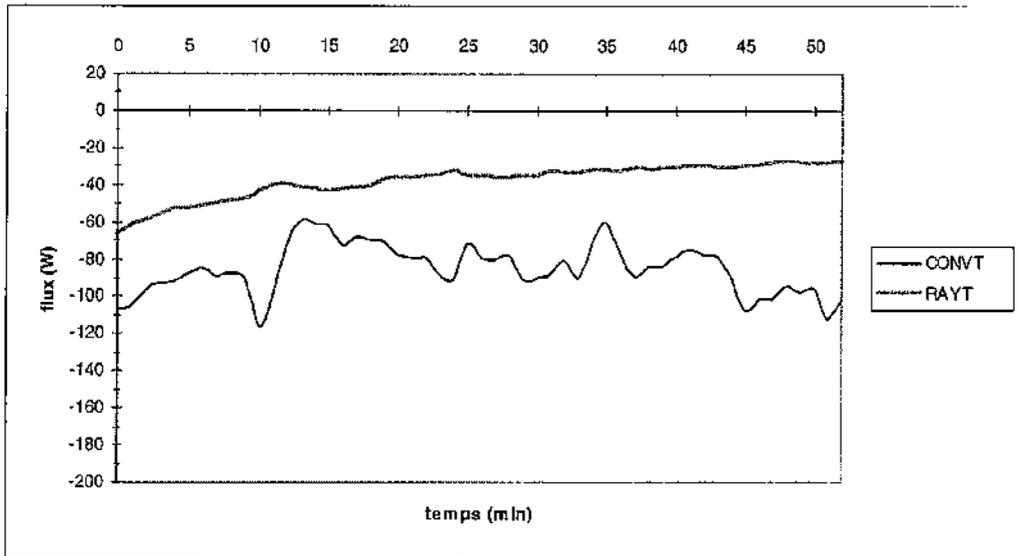
Essai n°16



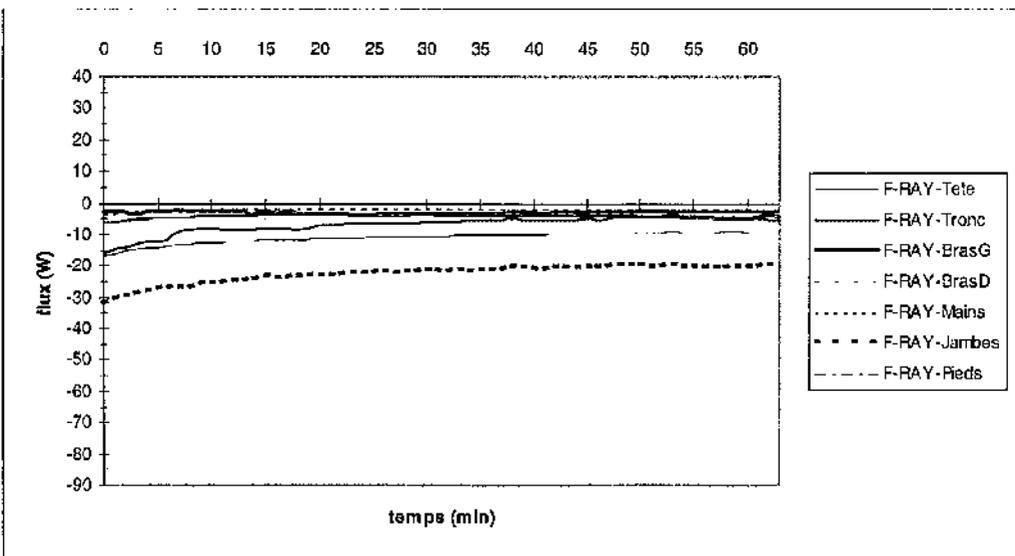
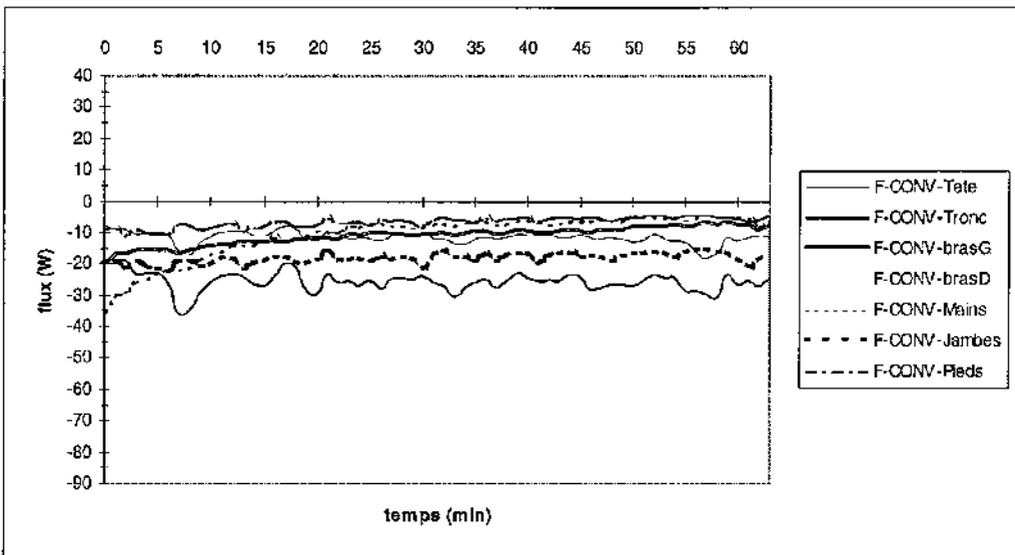
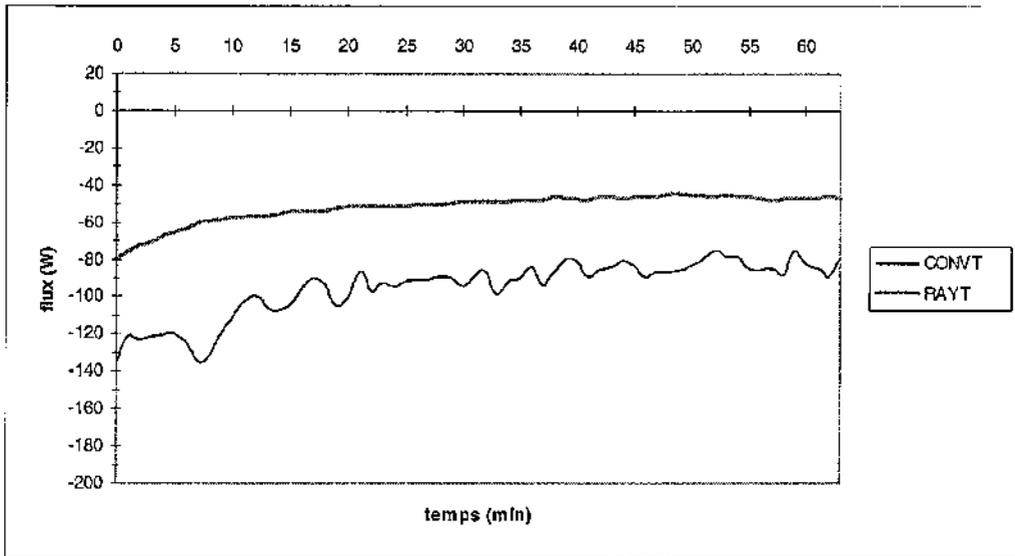
Essai n°17



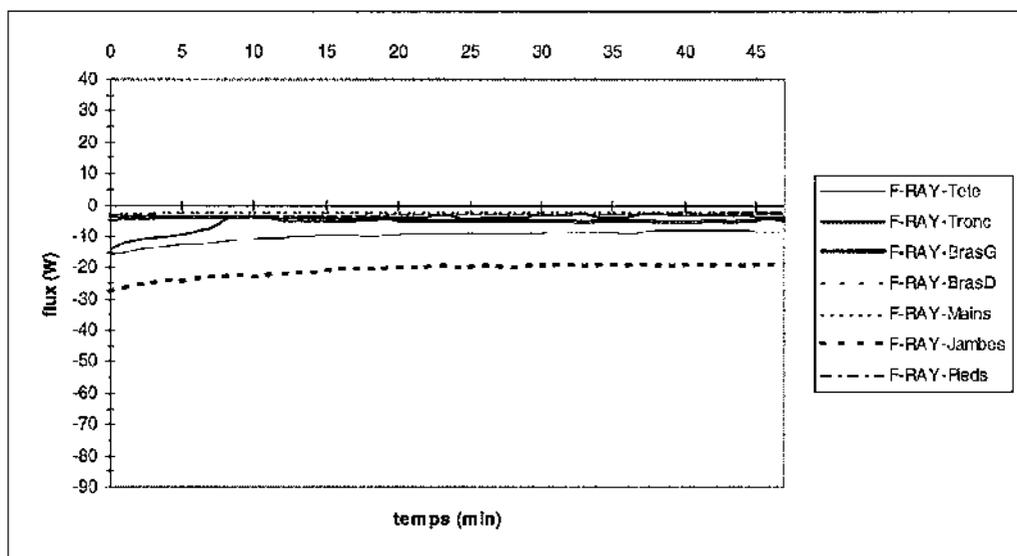
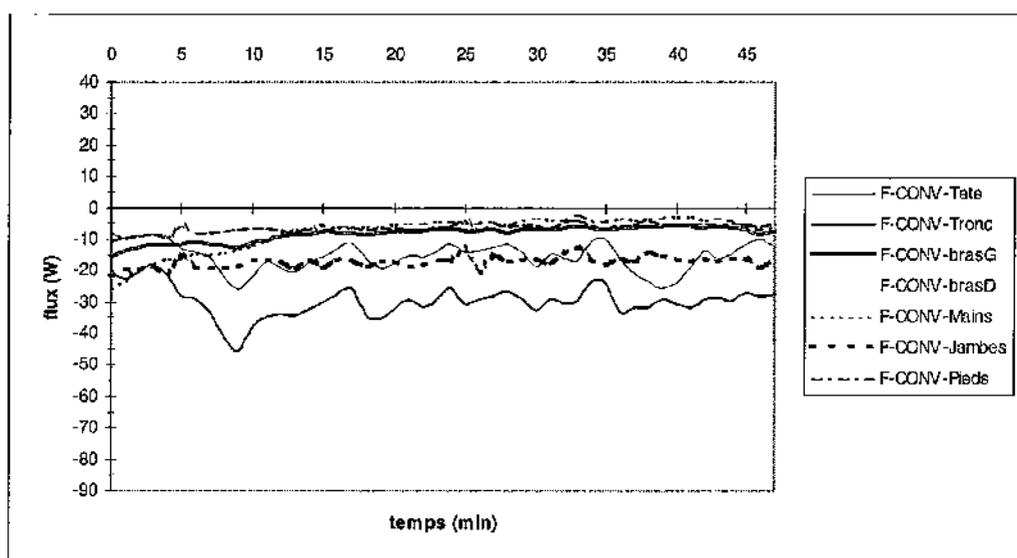
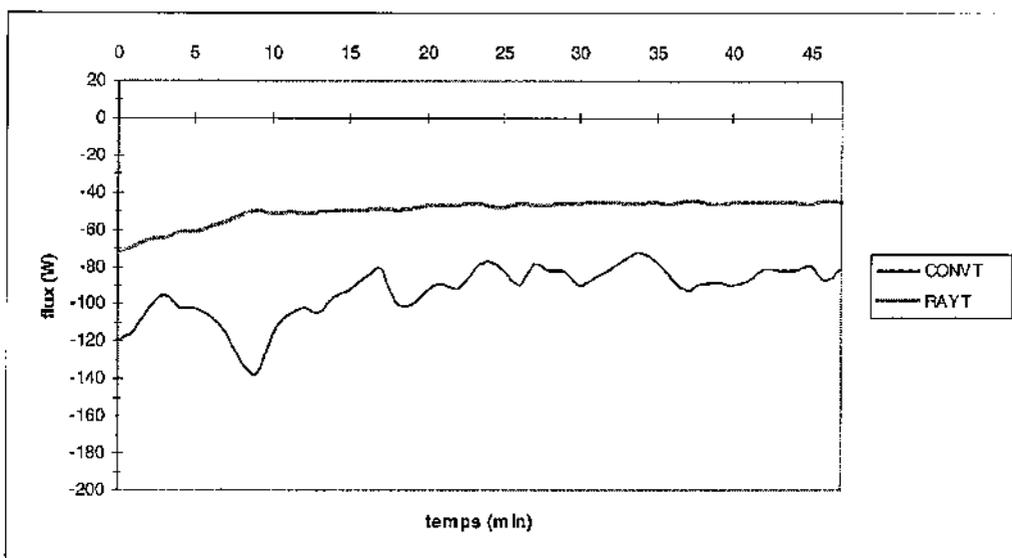
Essai n°18



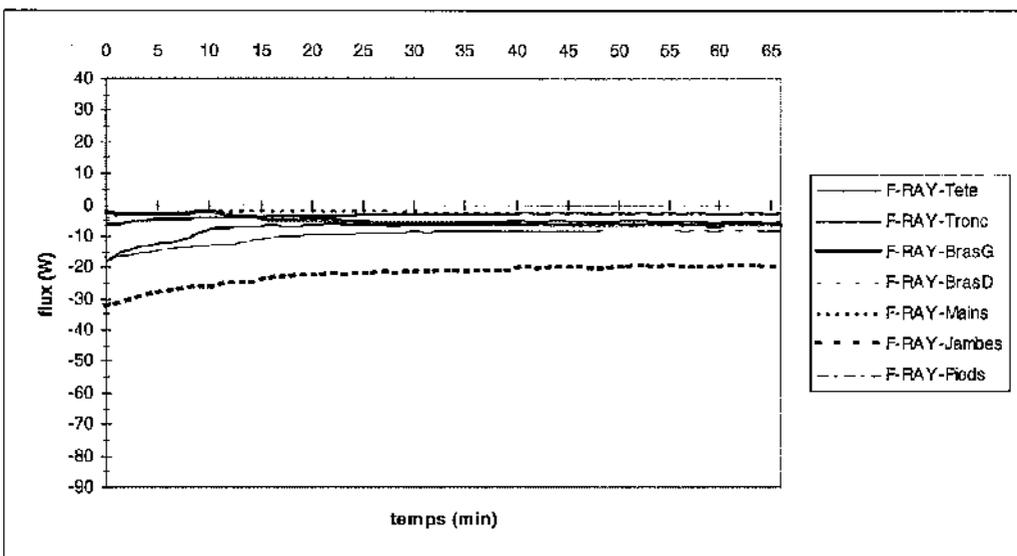
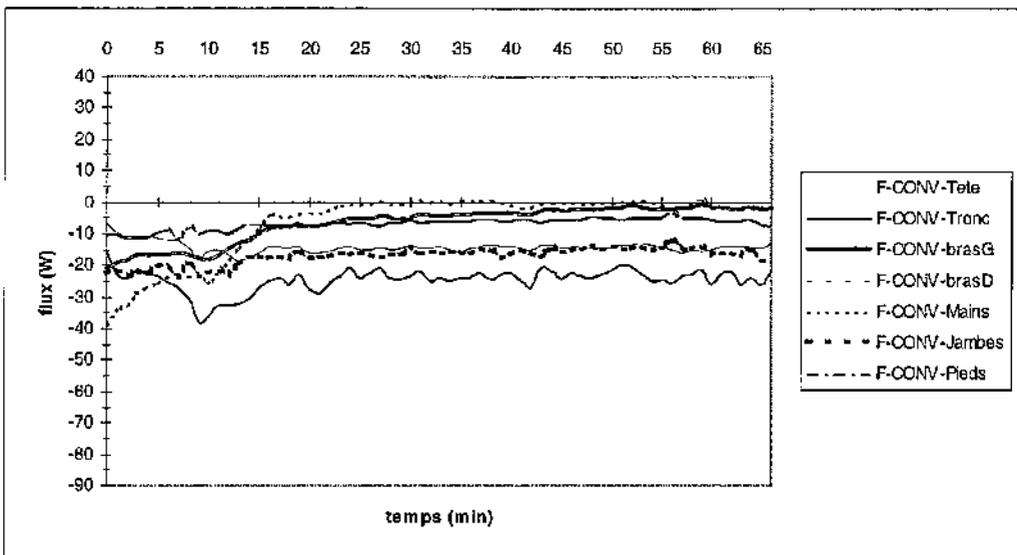
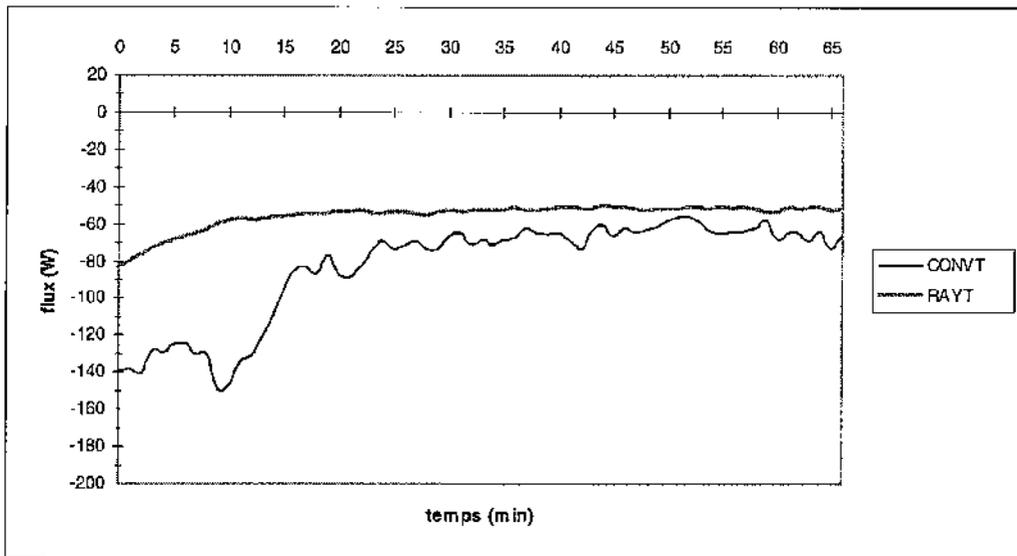
Essai n°19



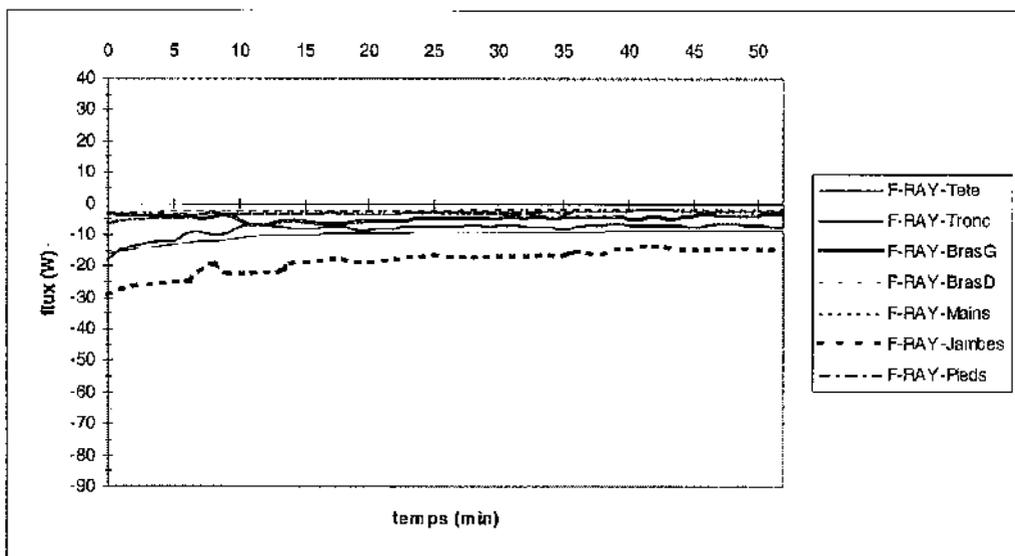
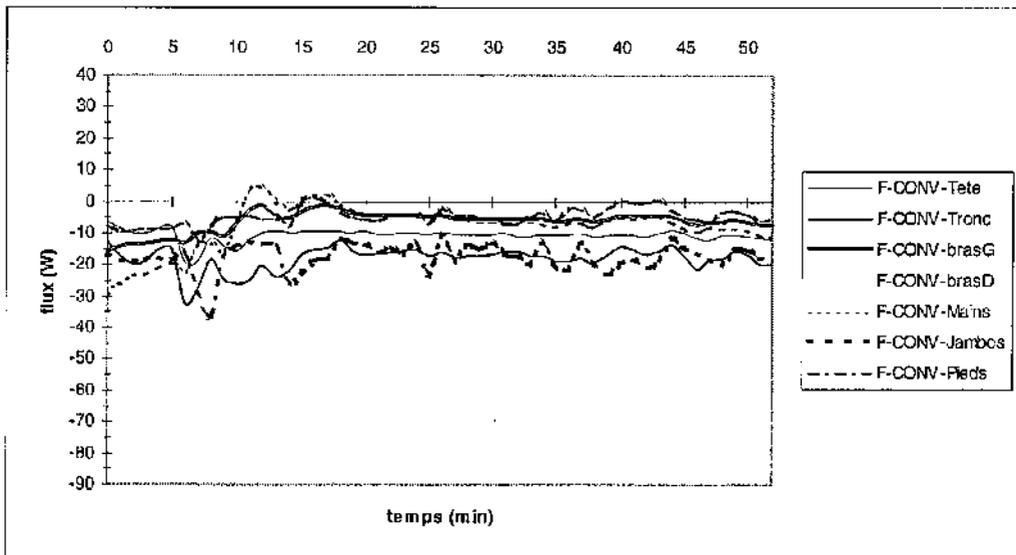
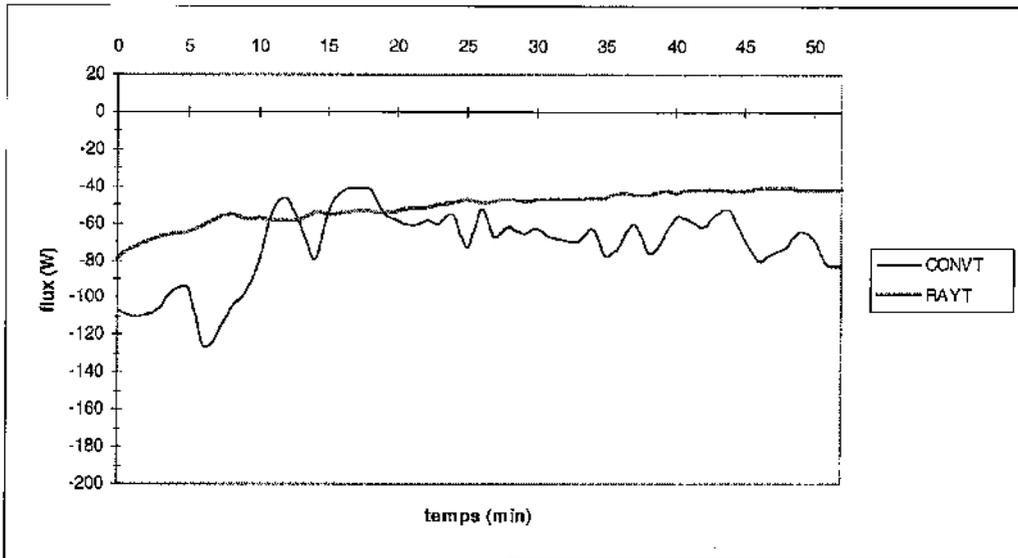
Essai n°20



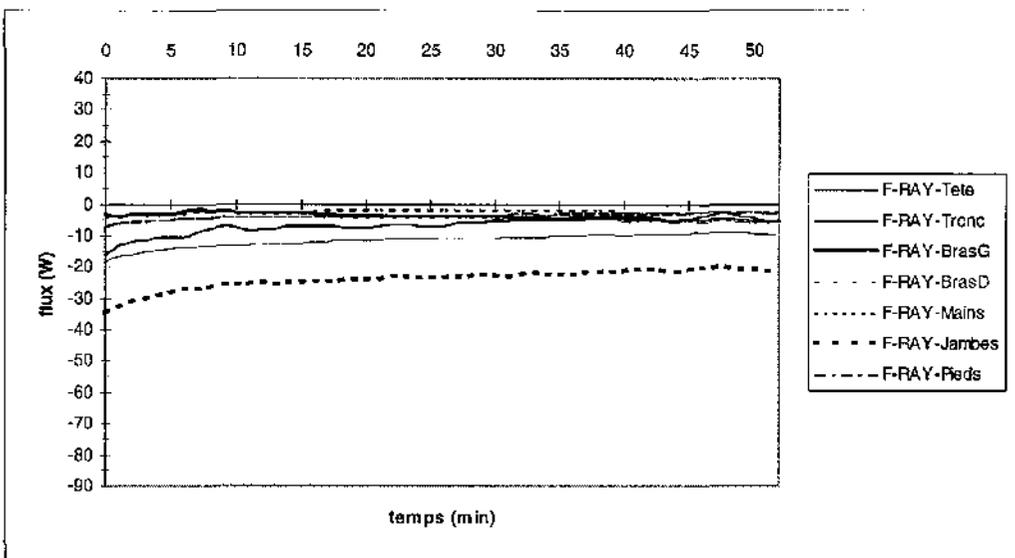
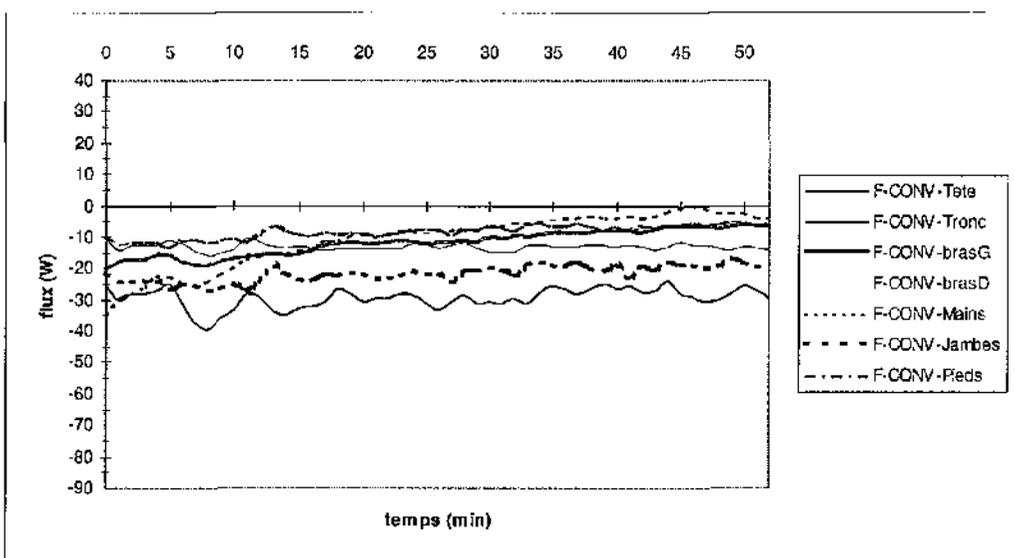
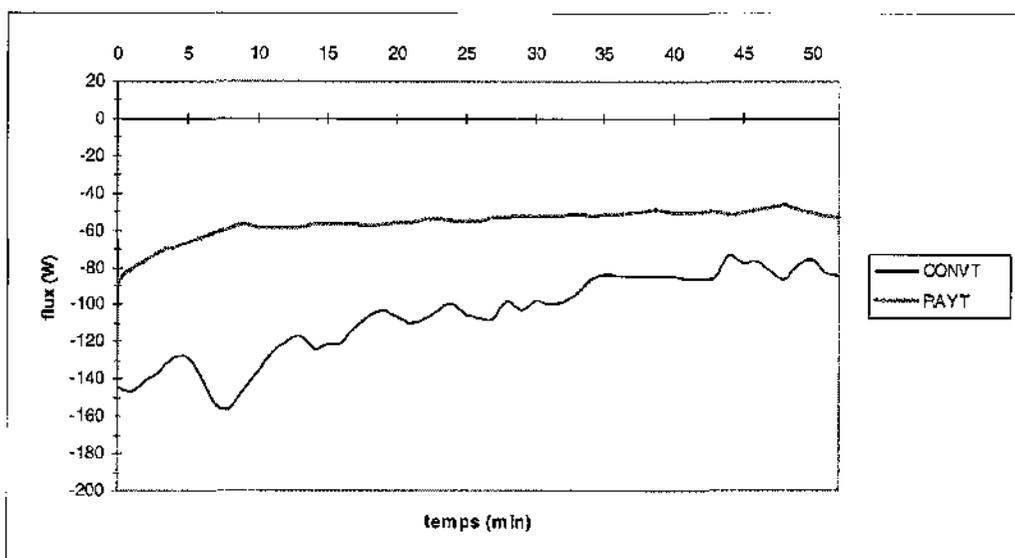
Essai n°21



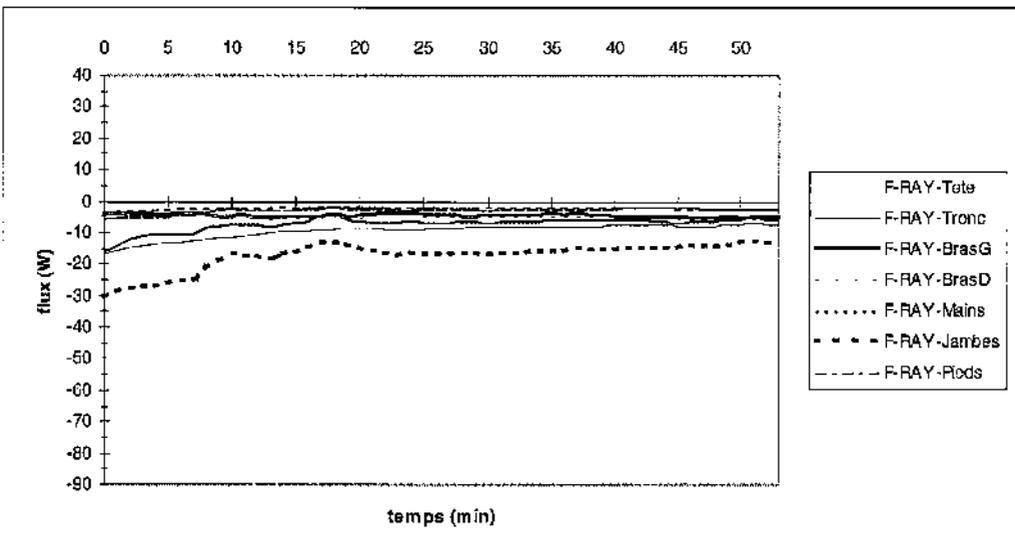
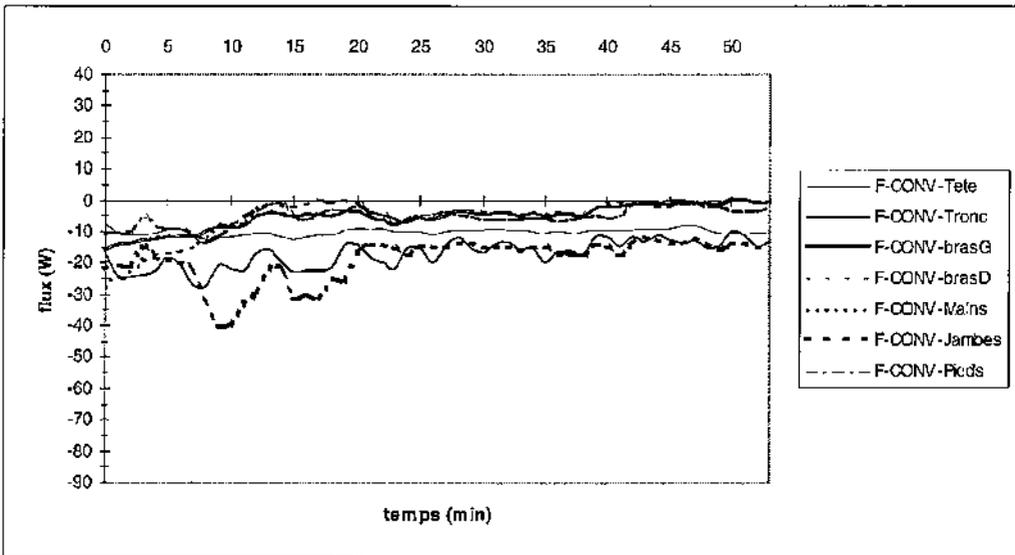
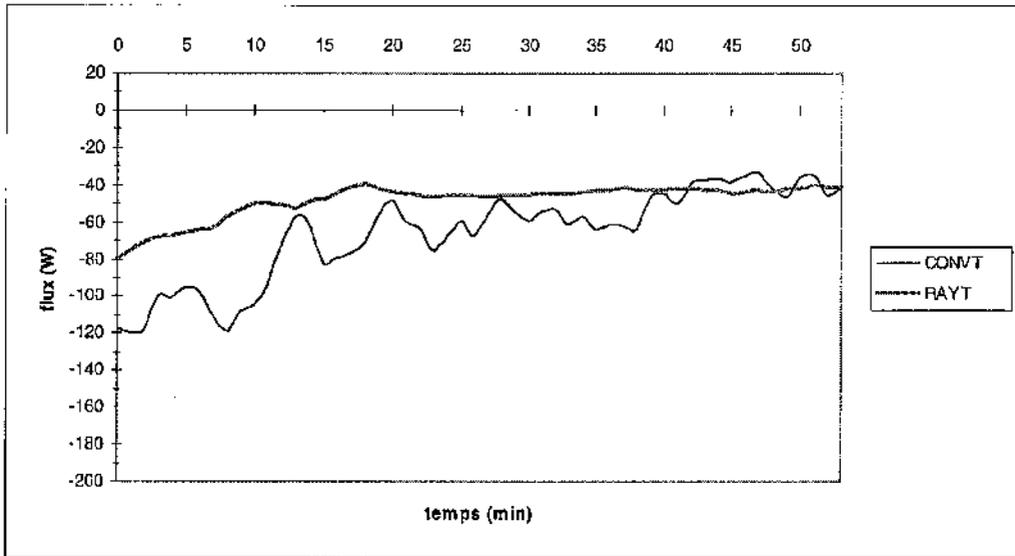
Essai n°22



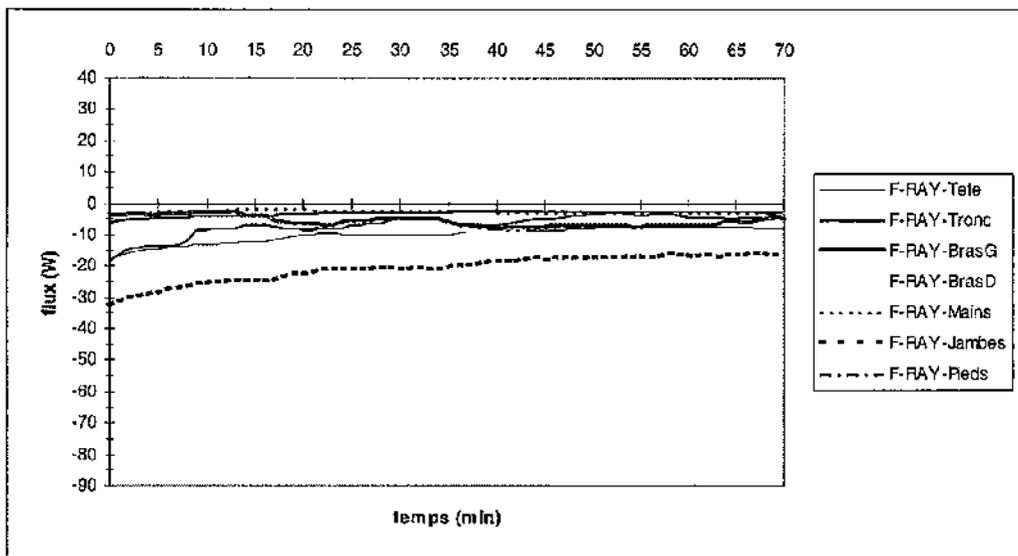
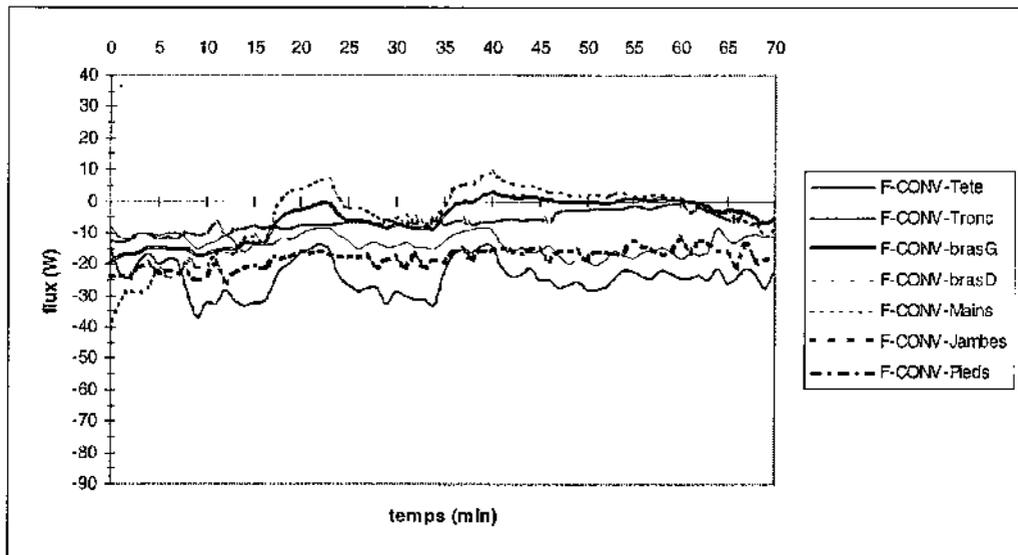
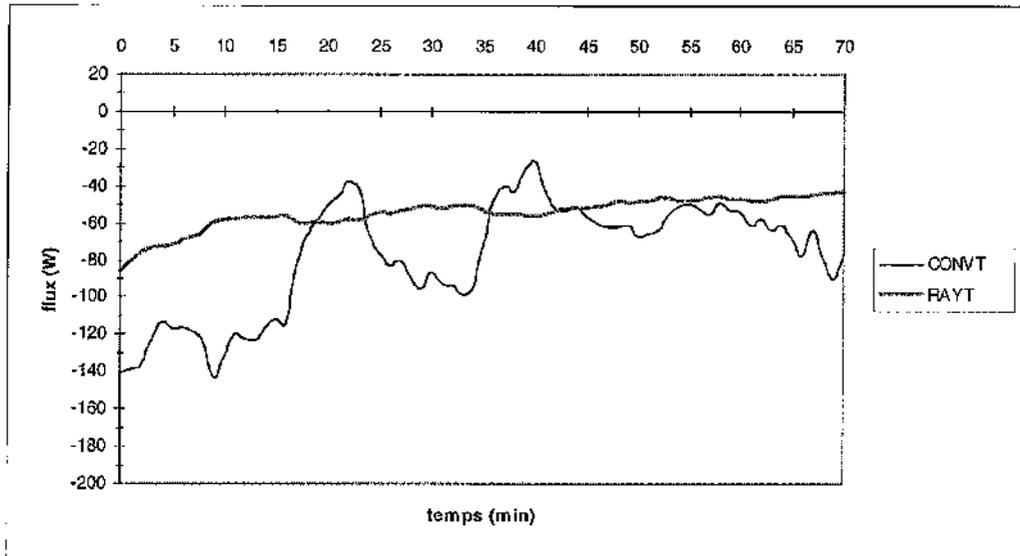
Essai n°23



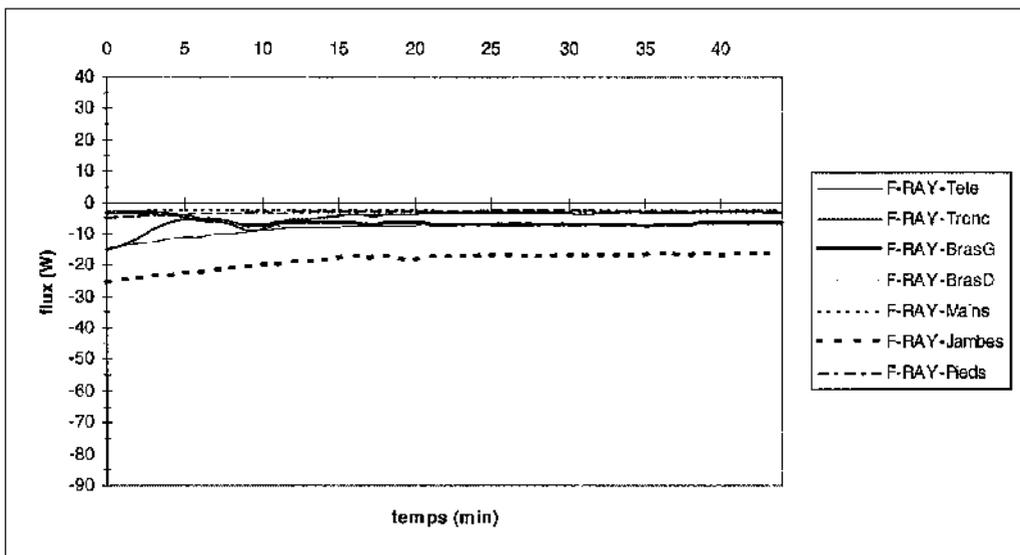
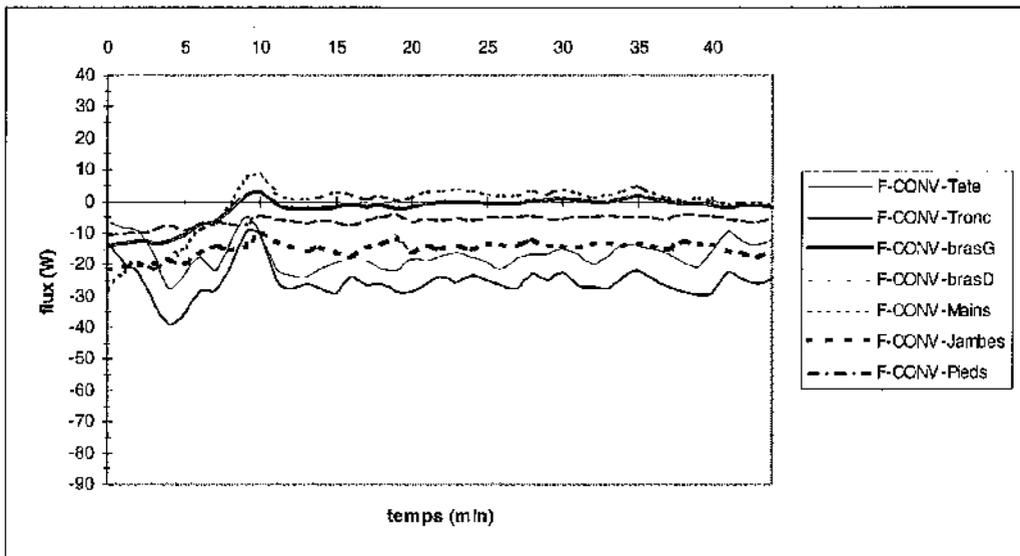
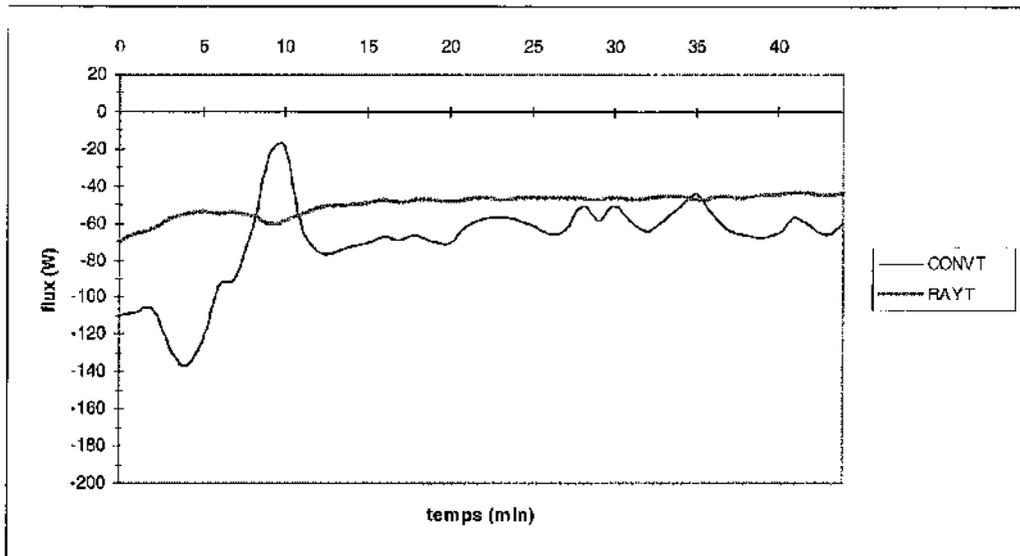
Essai n°24



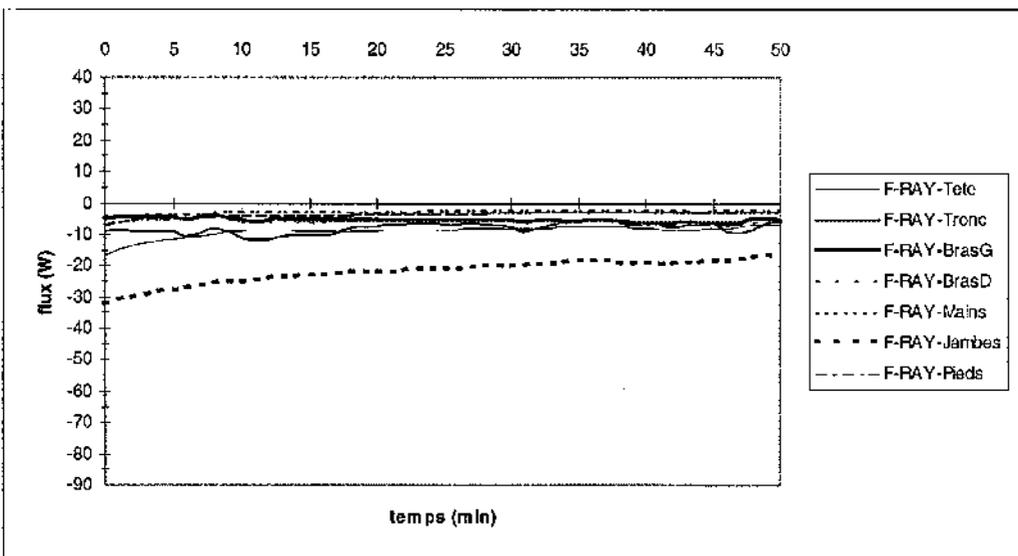
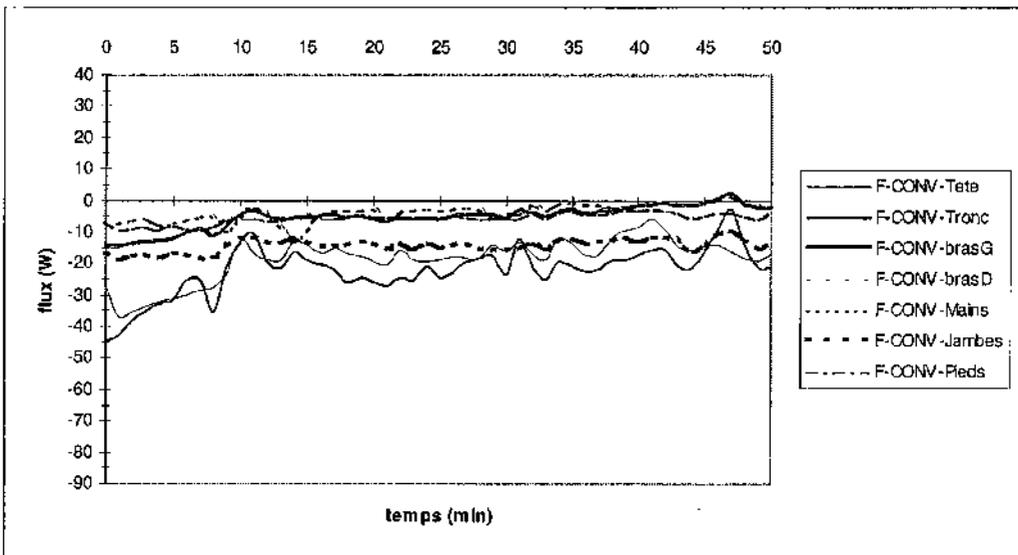
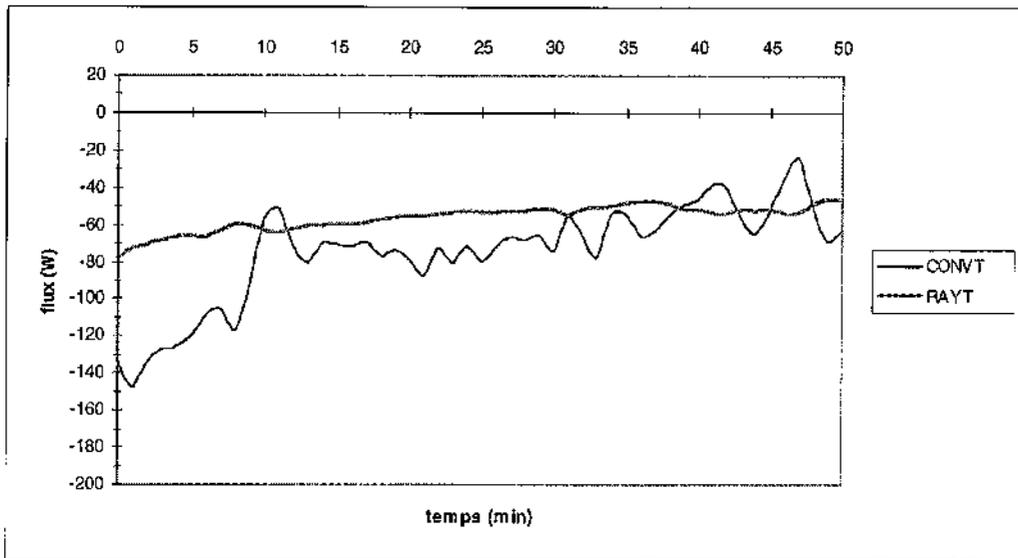
Essai n°25



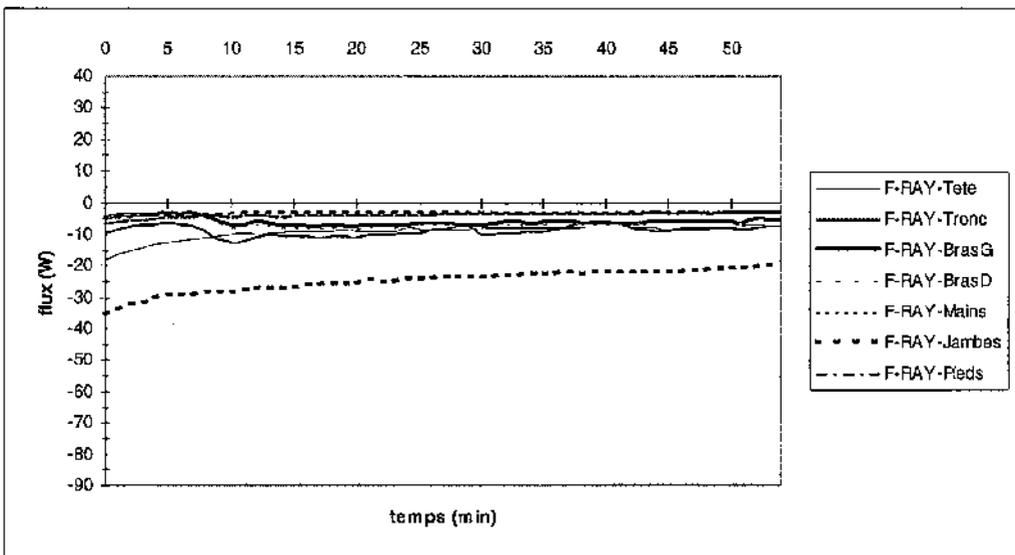
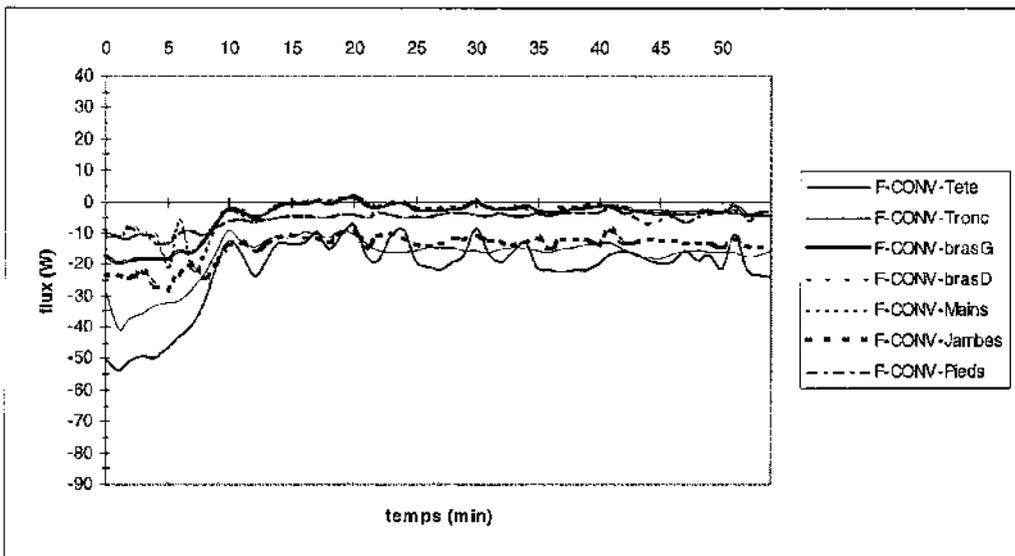
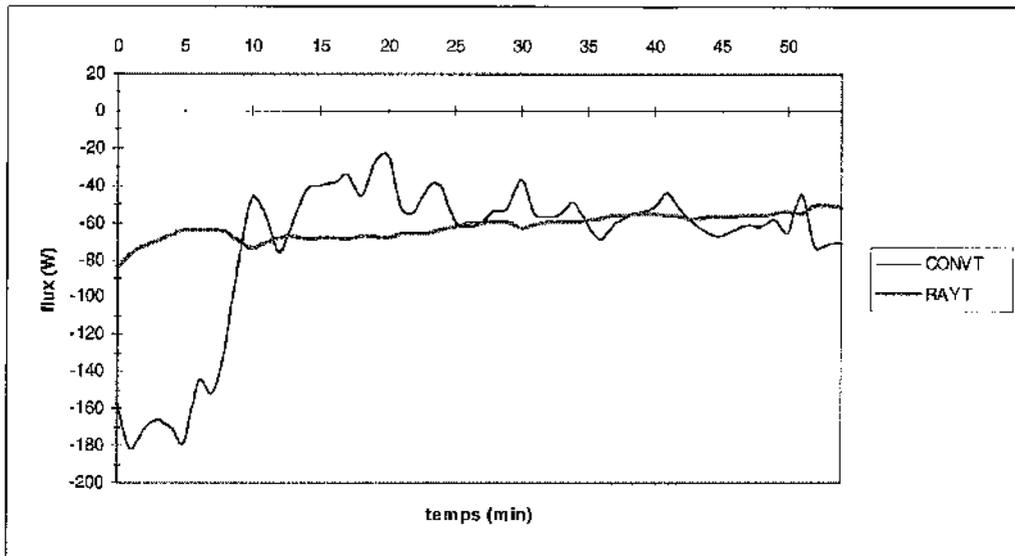
Essai n°26



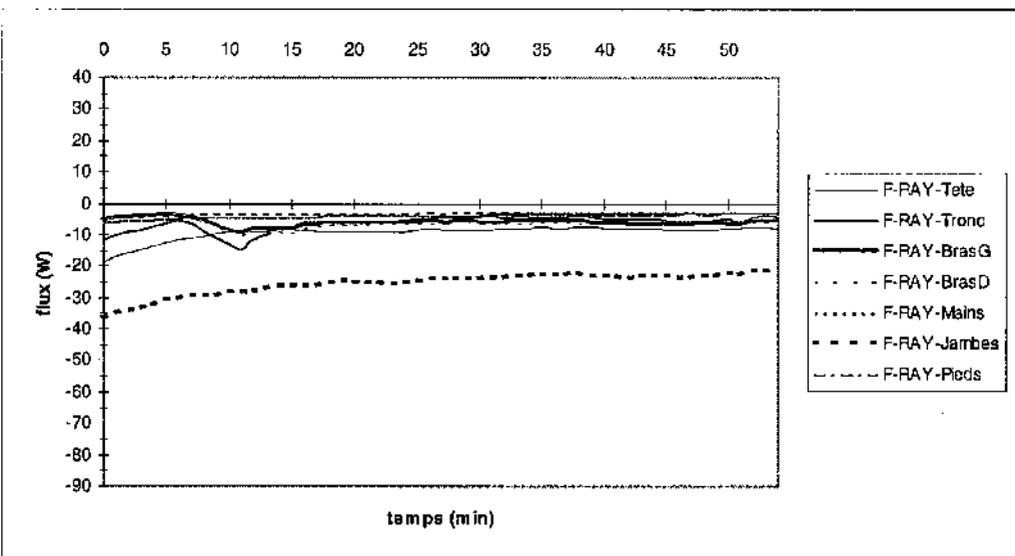
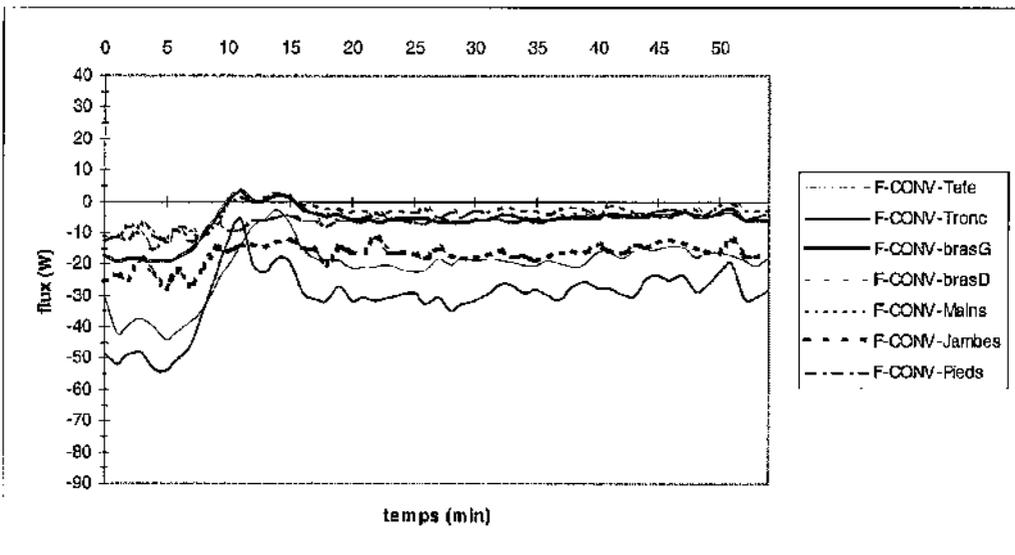
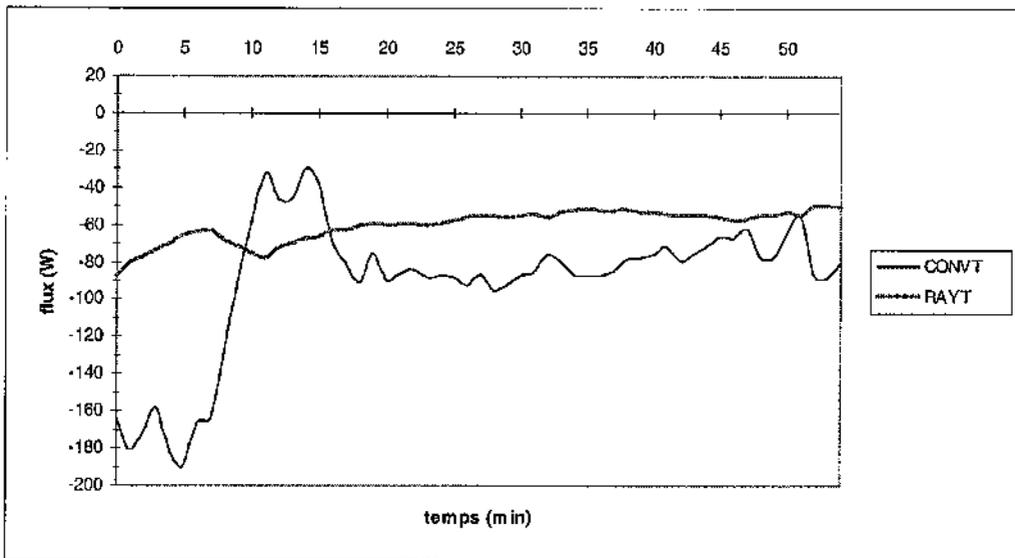
Essai n°4b



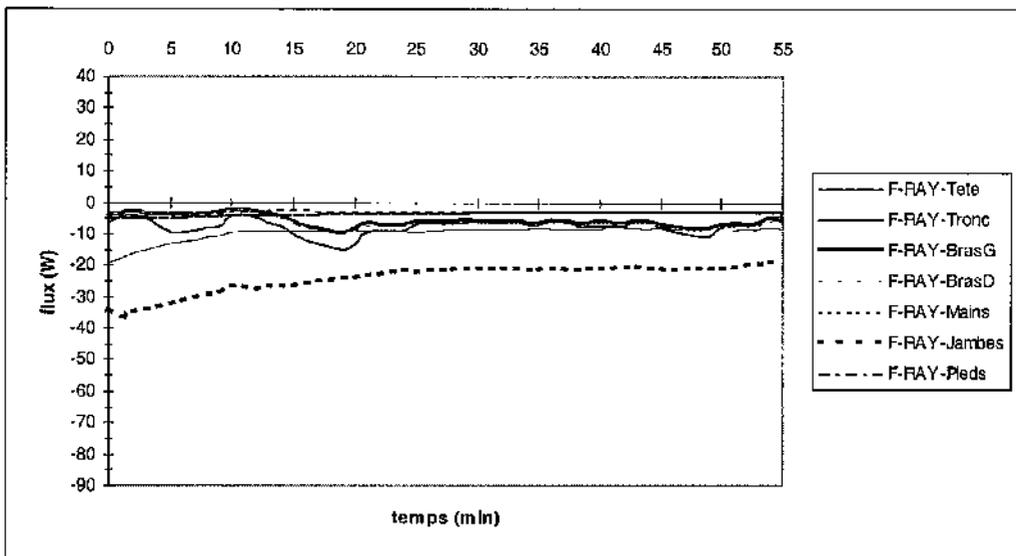
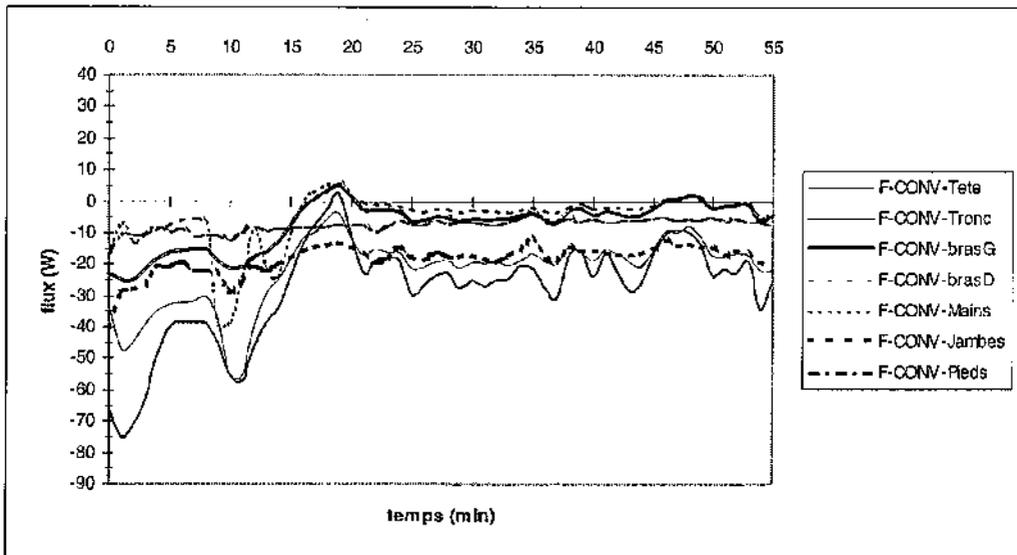
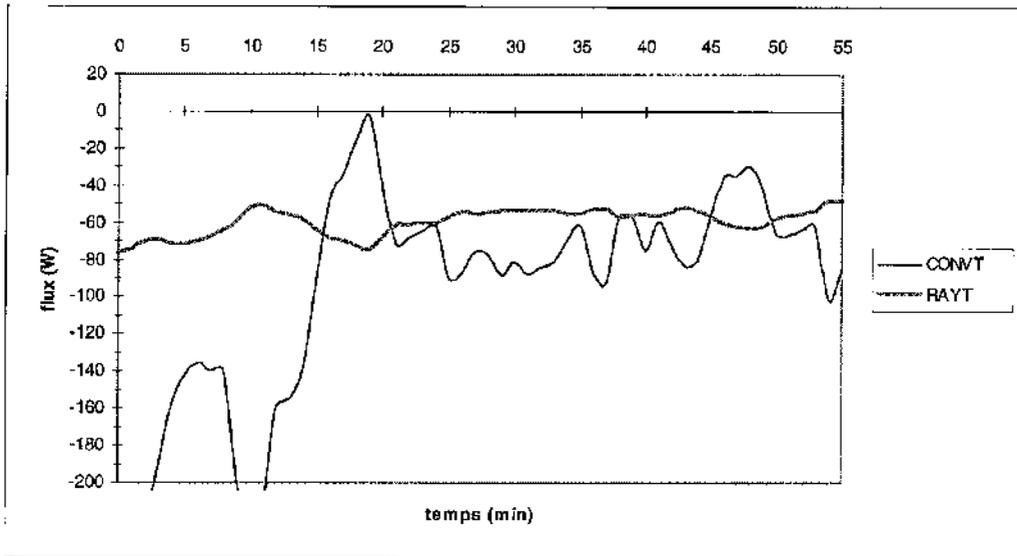
Essai n°5b



Essai n°16b

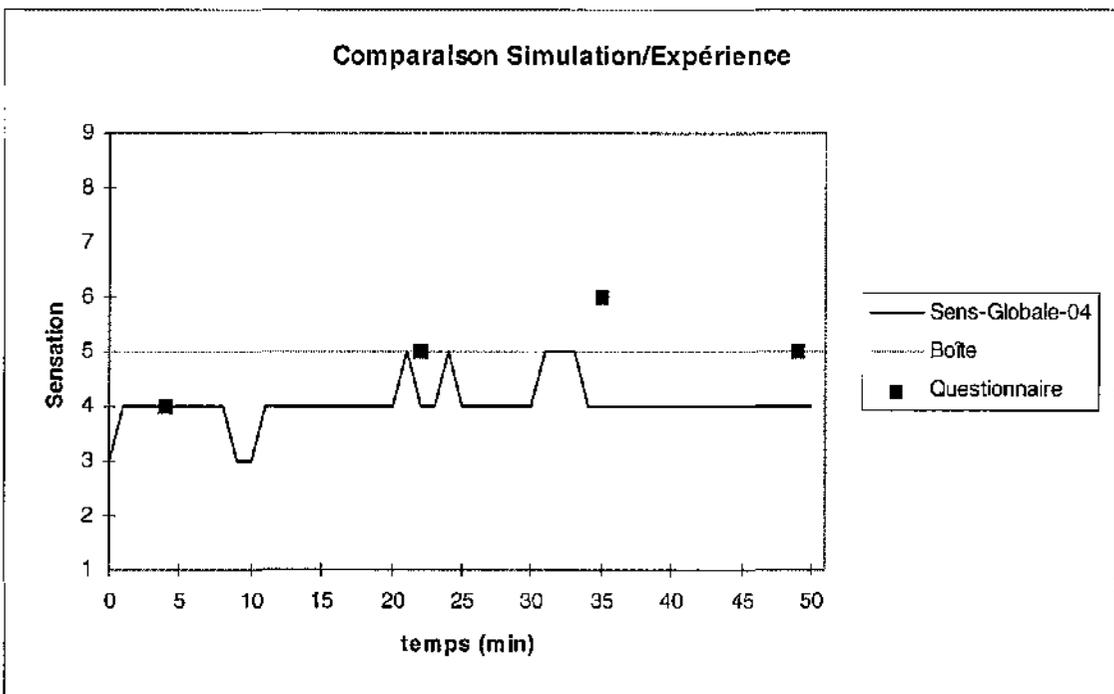
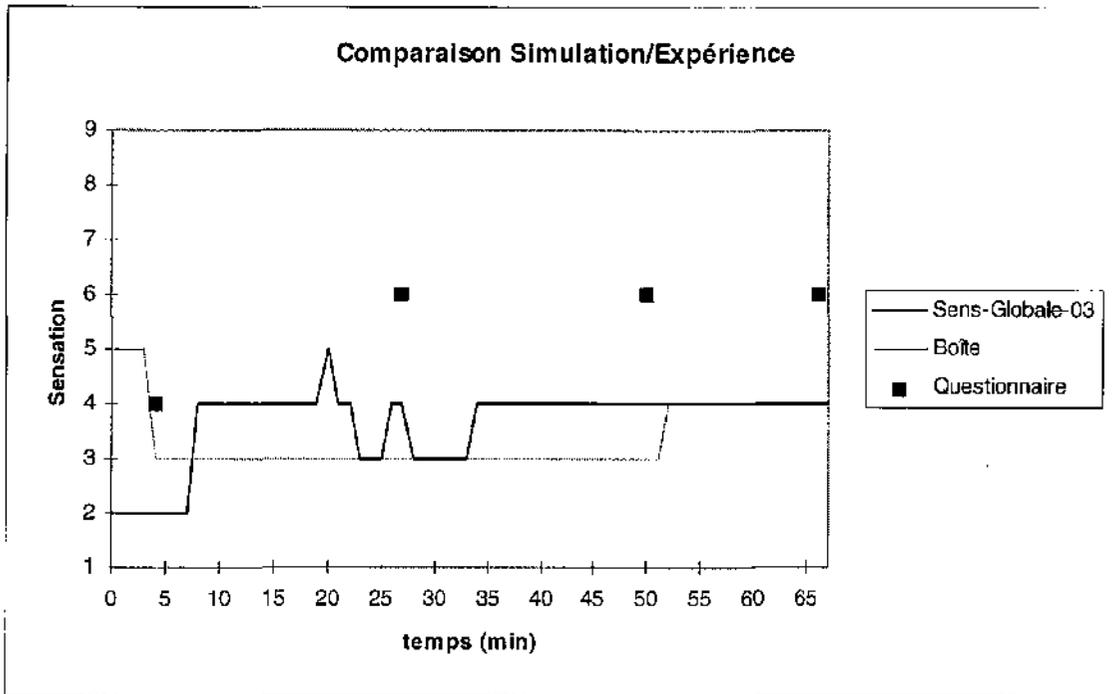


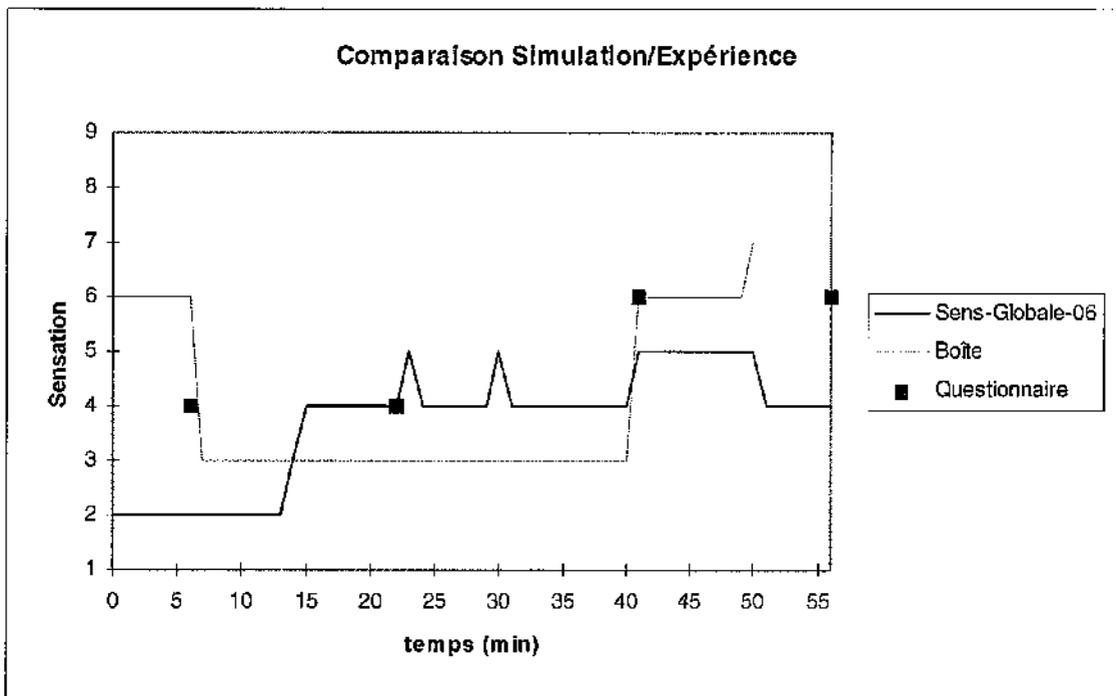
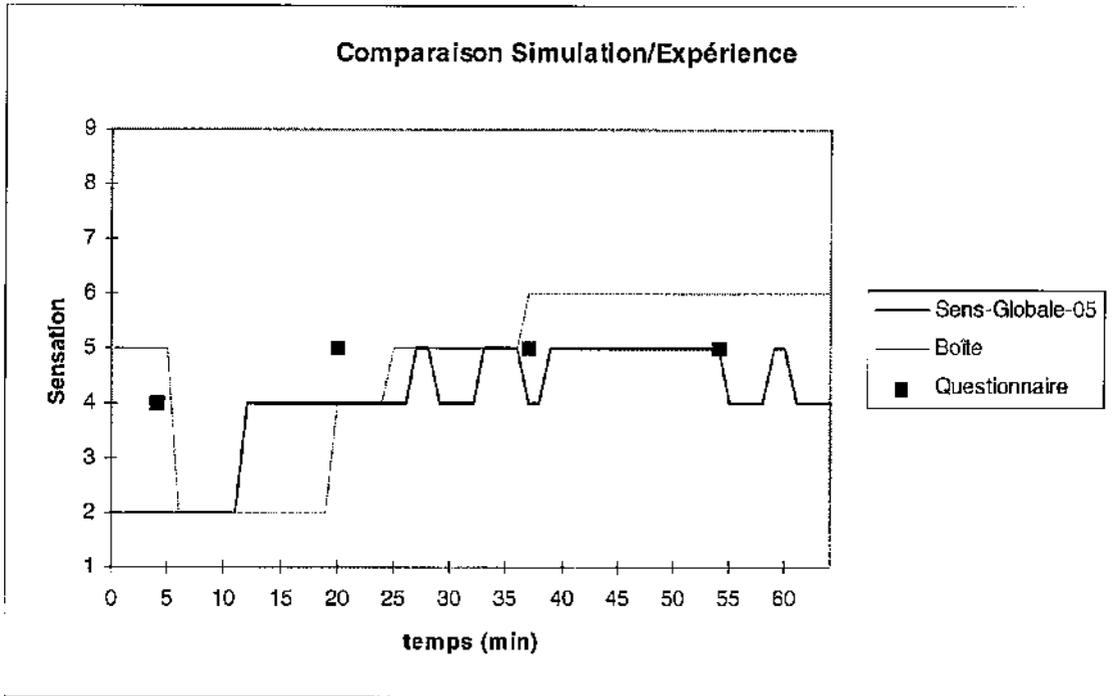
Essai n°17b

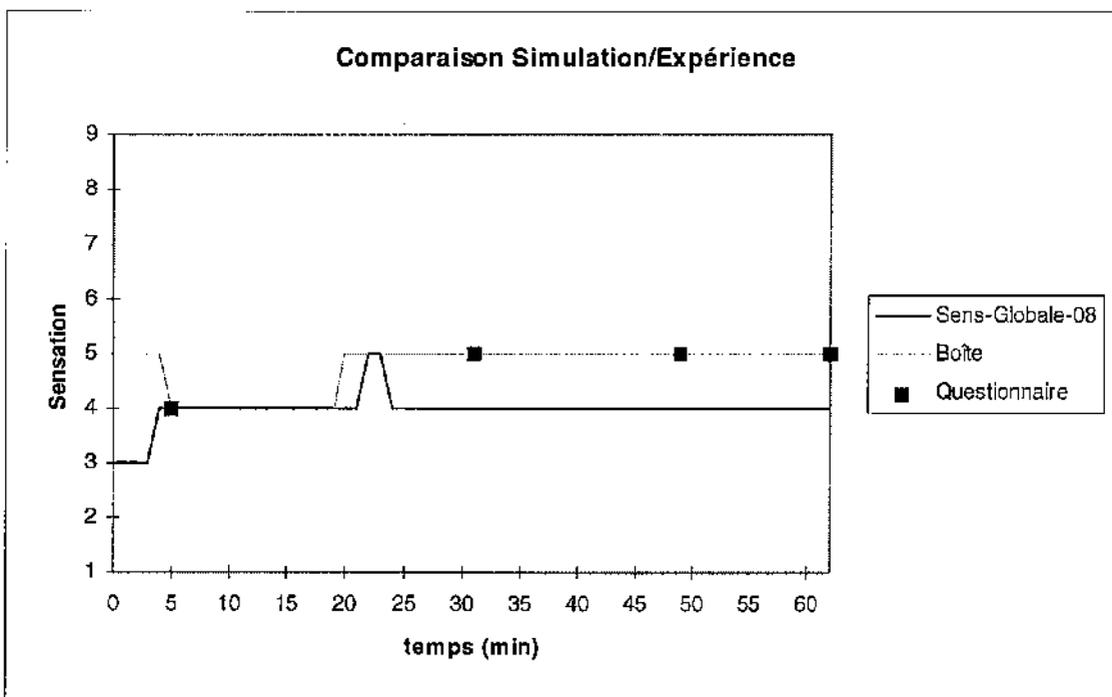
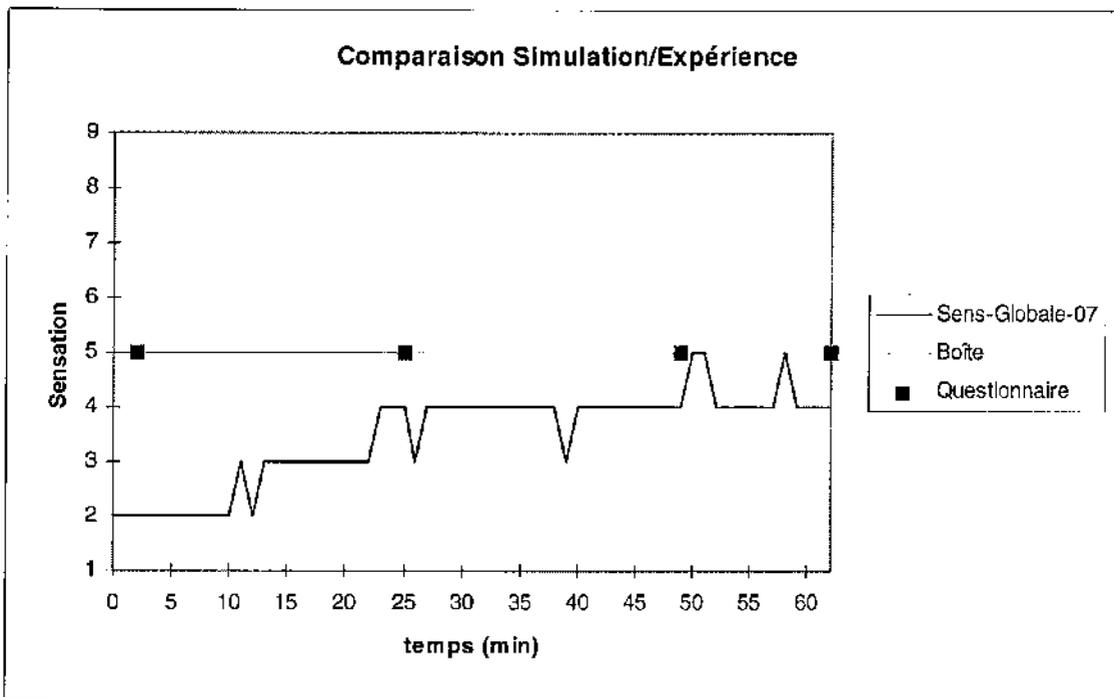


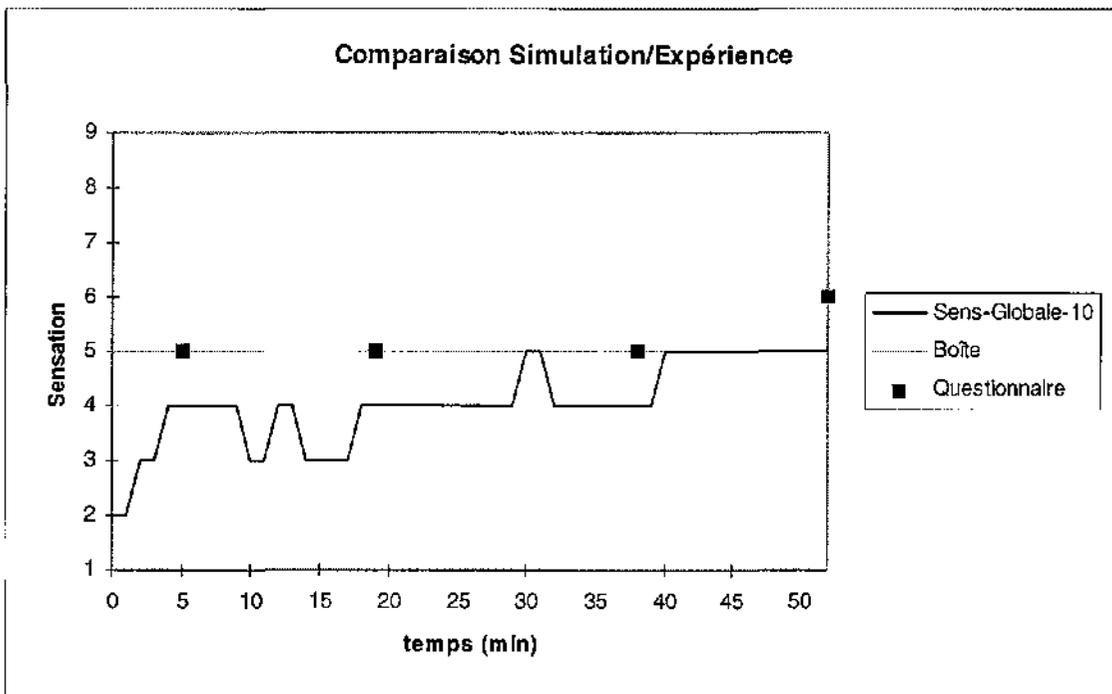
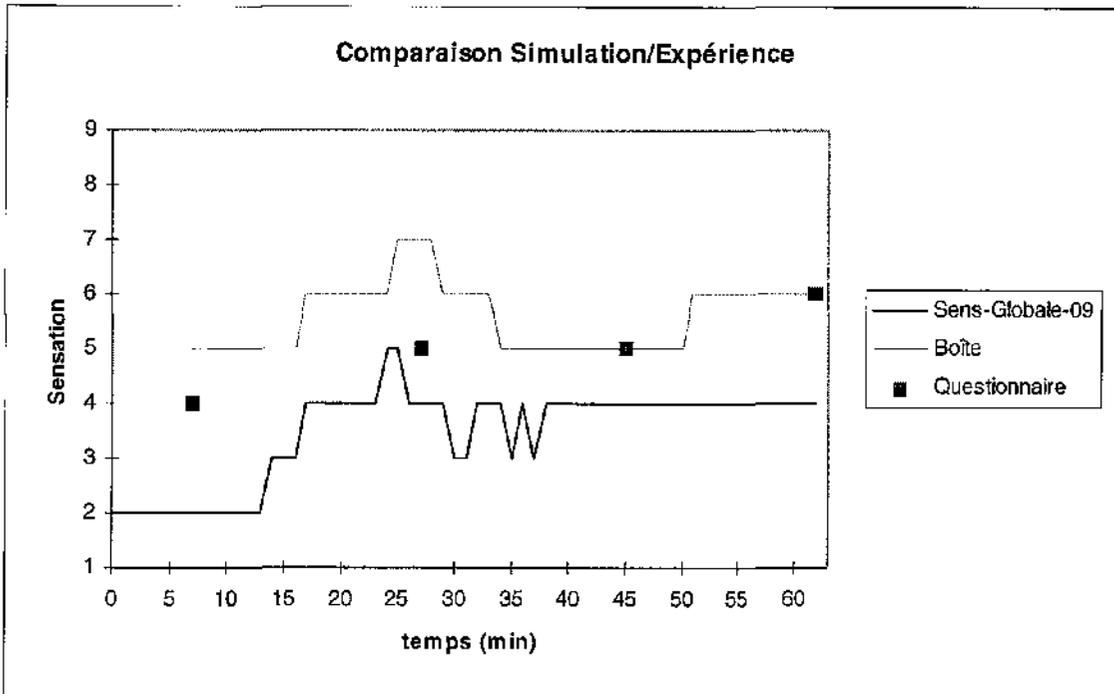
ANNEXE C

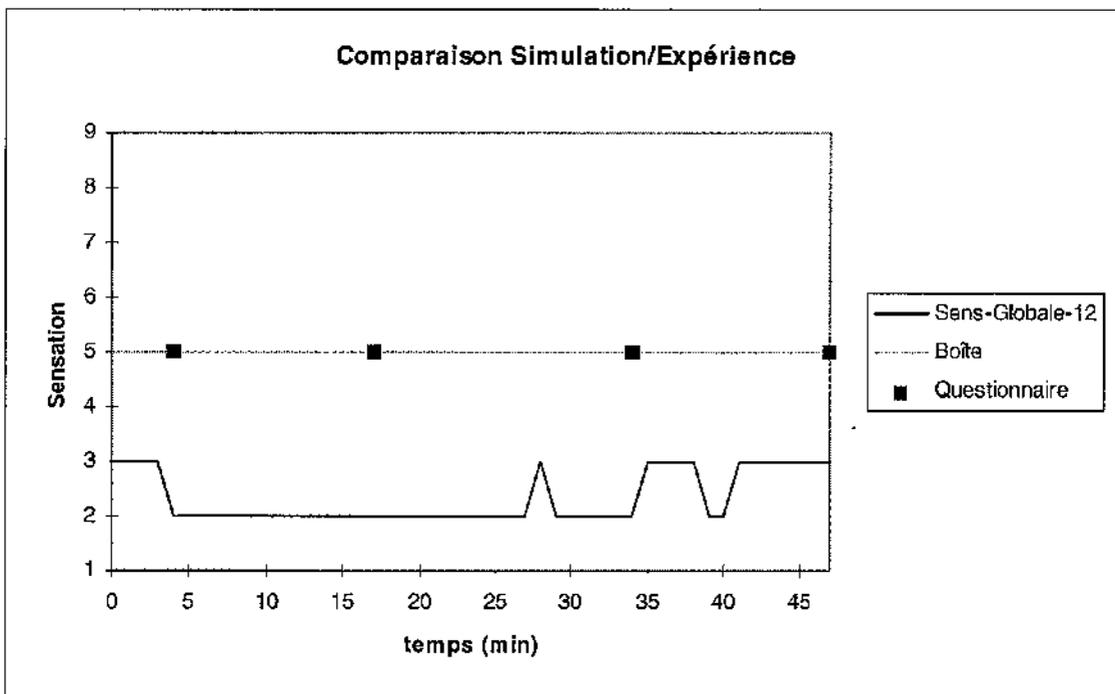
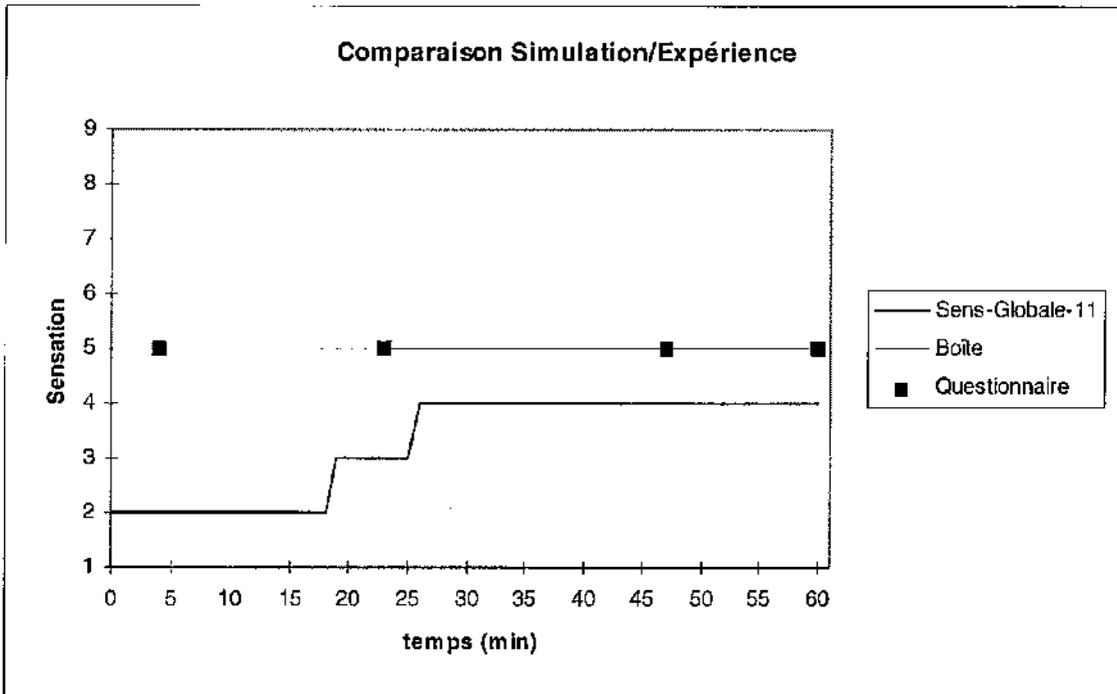
Sensation globale, MATHER et LAA



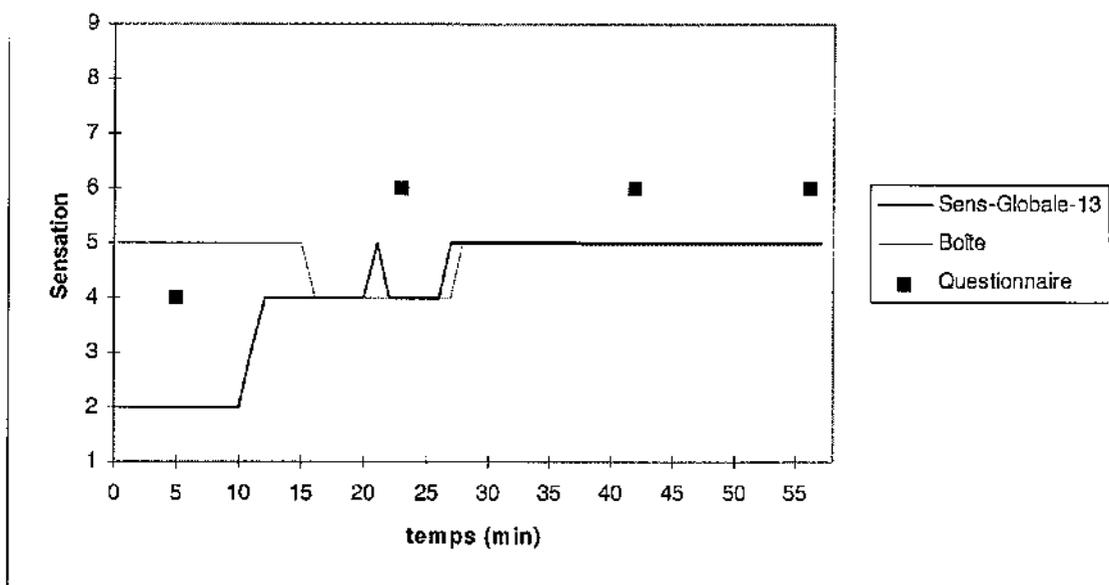




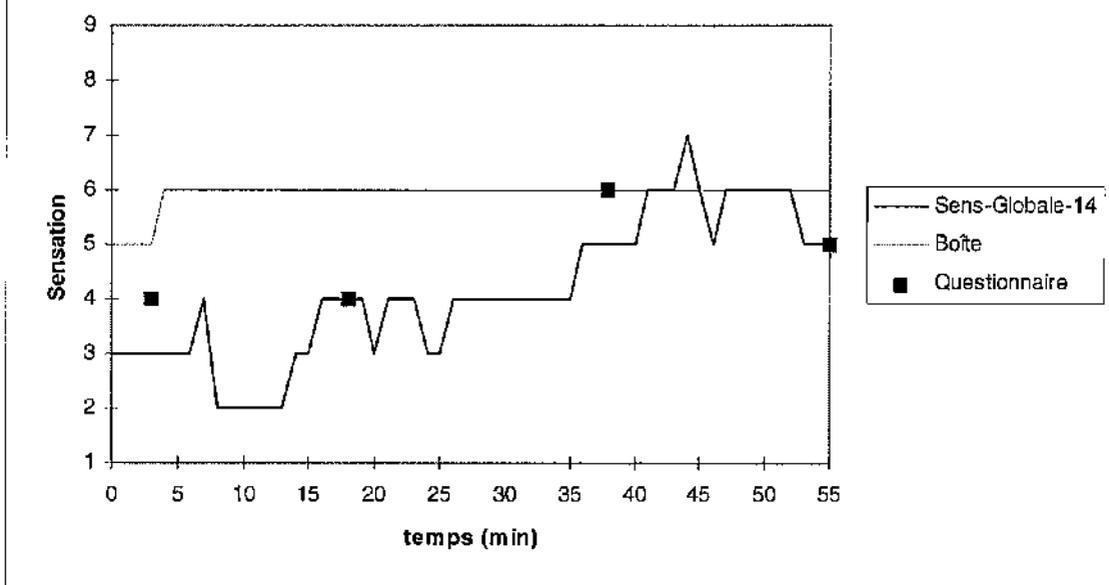


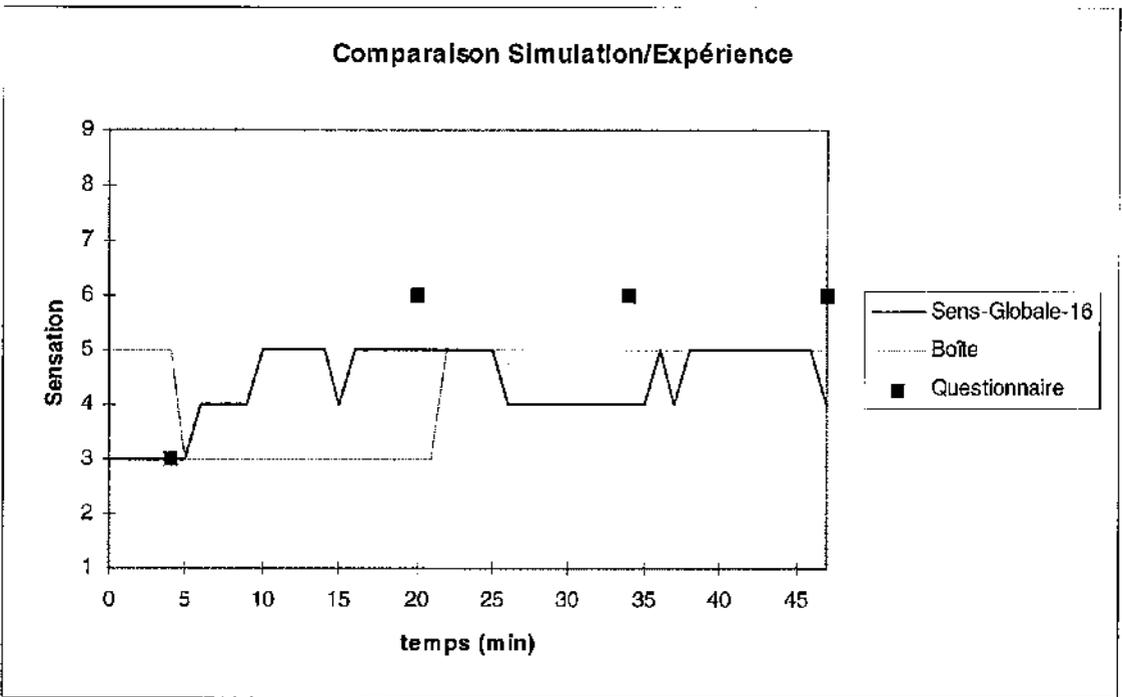
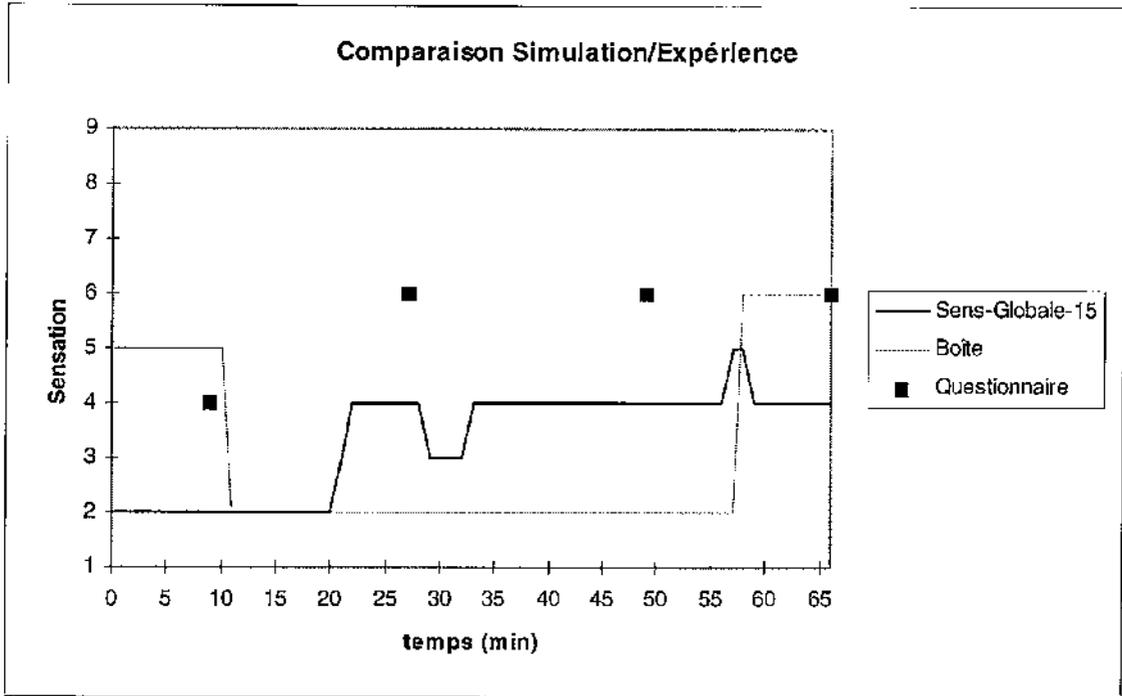


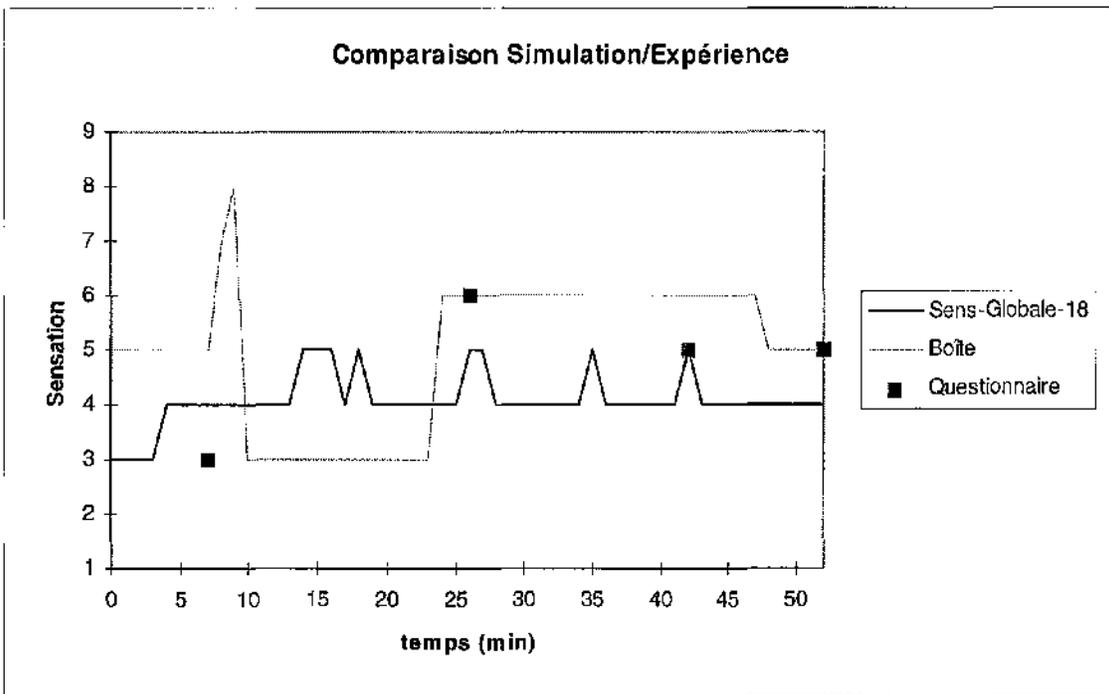
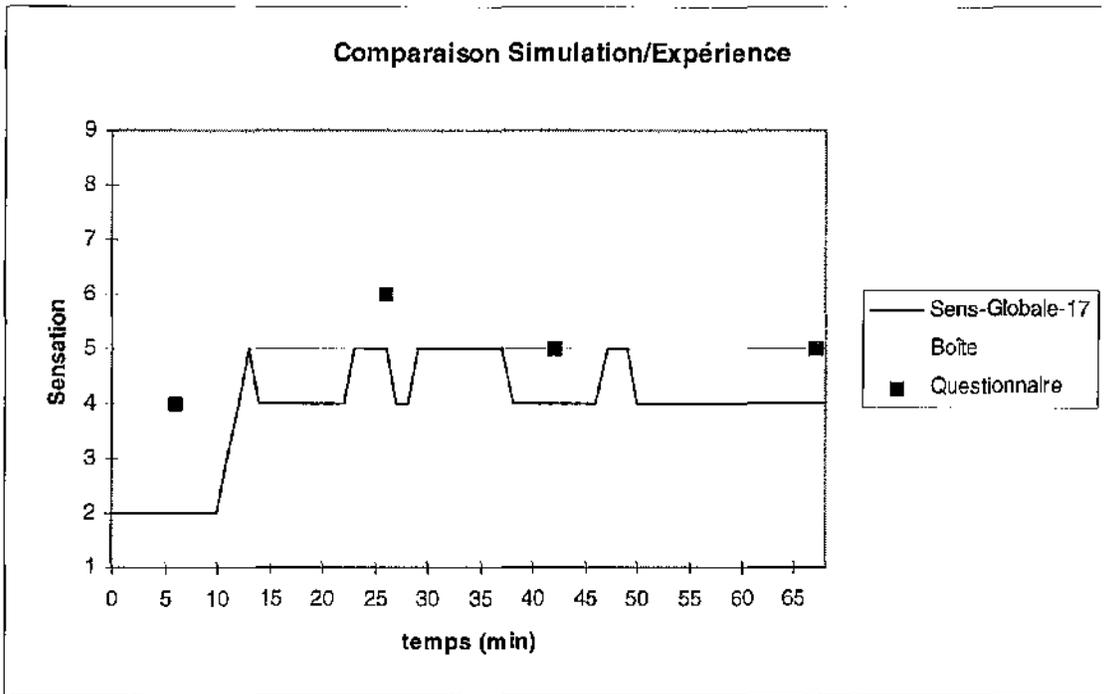
Comparaison Simulation/Expérience

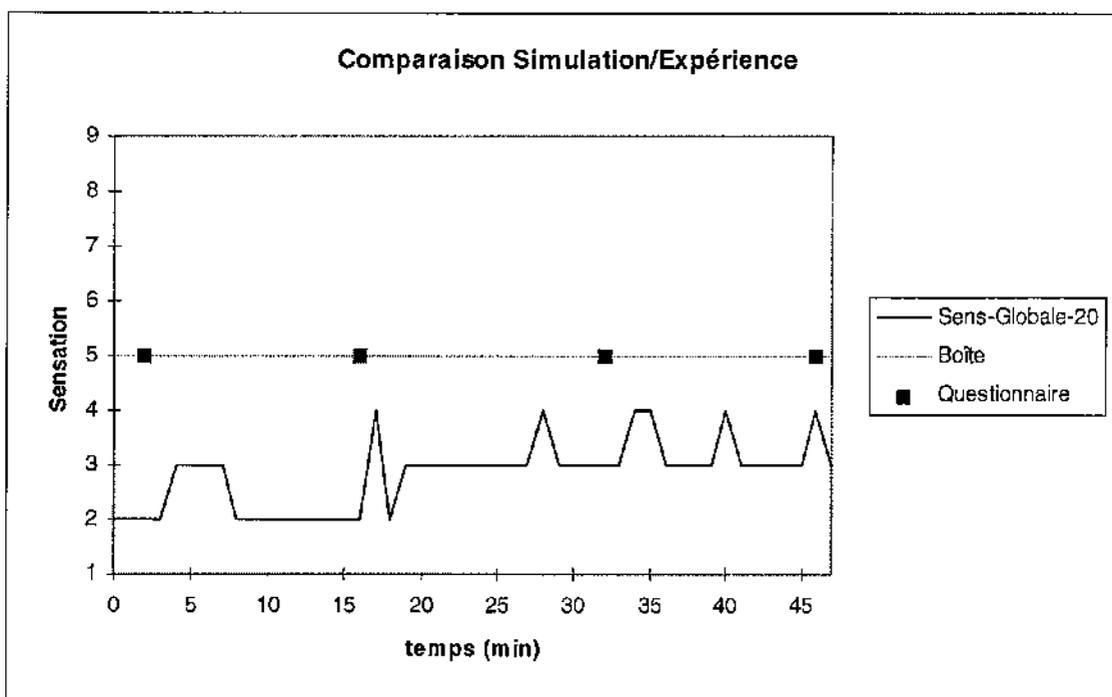
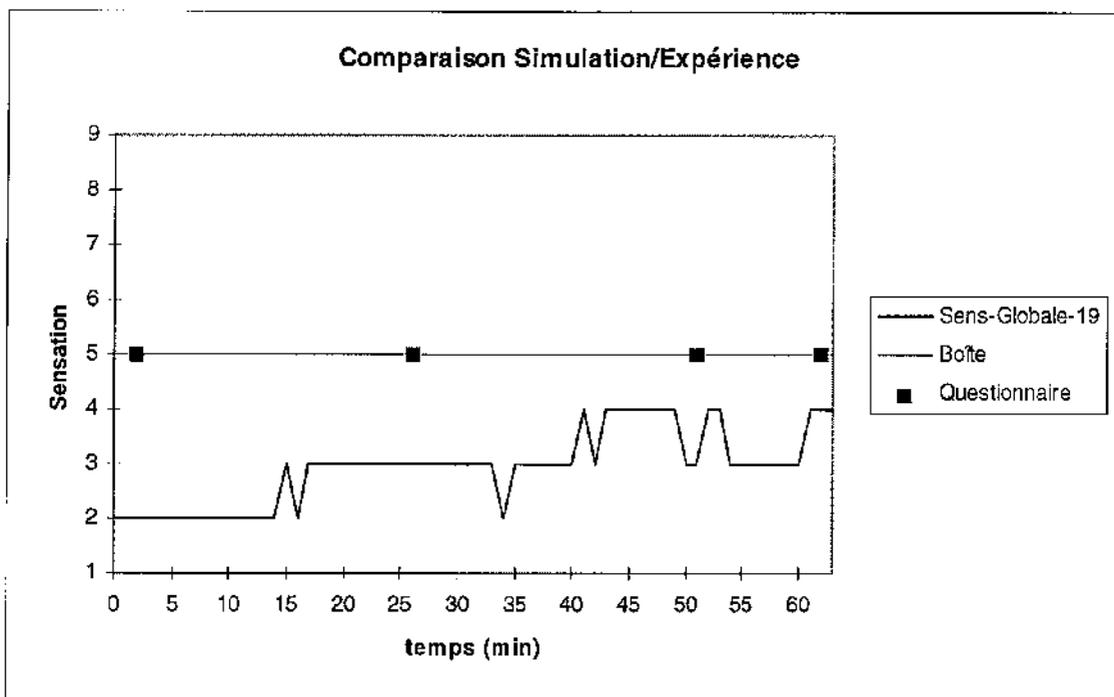


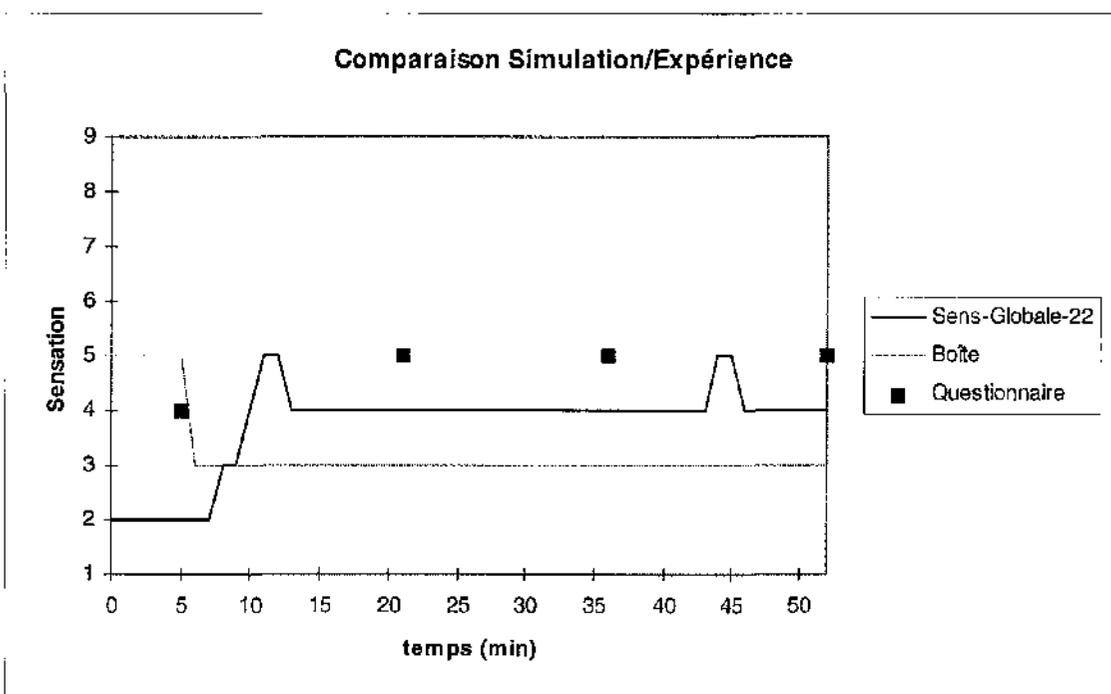
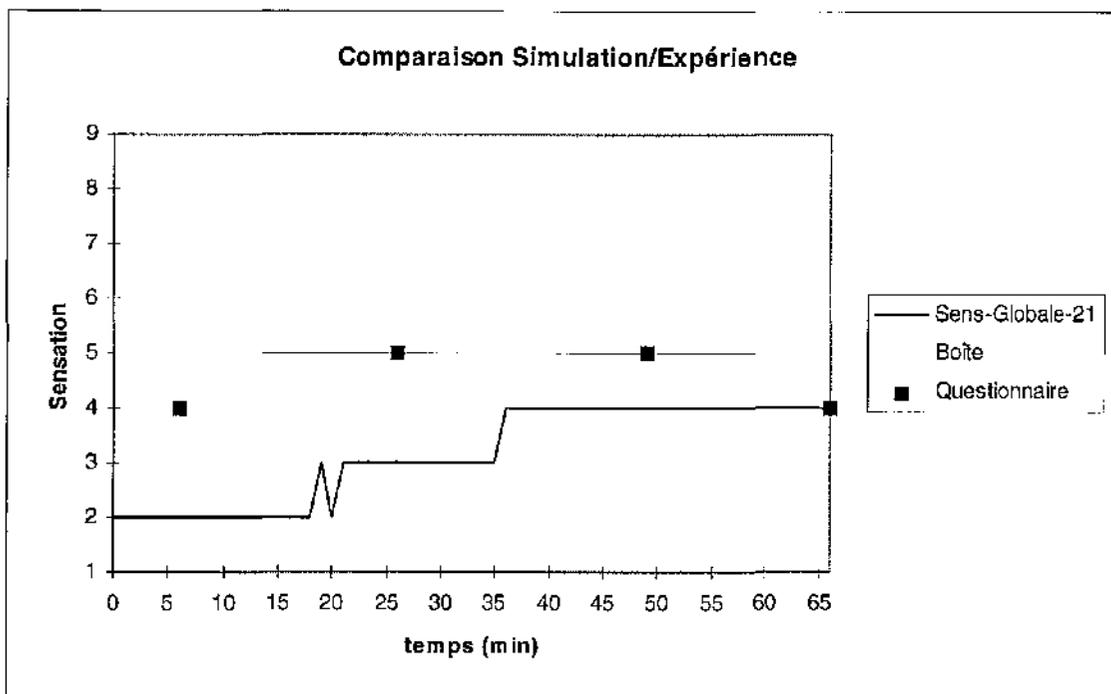
Comparaison Simulation/Expérience

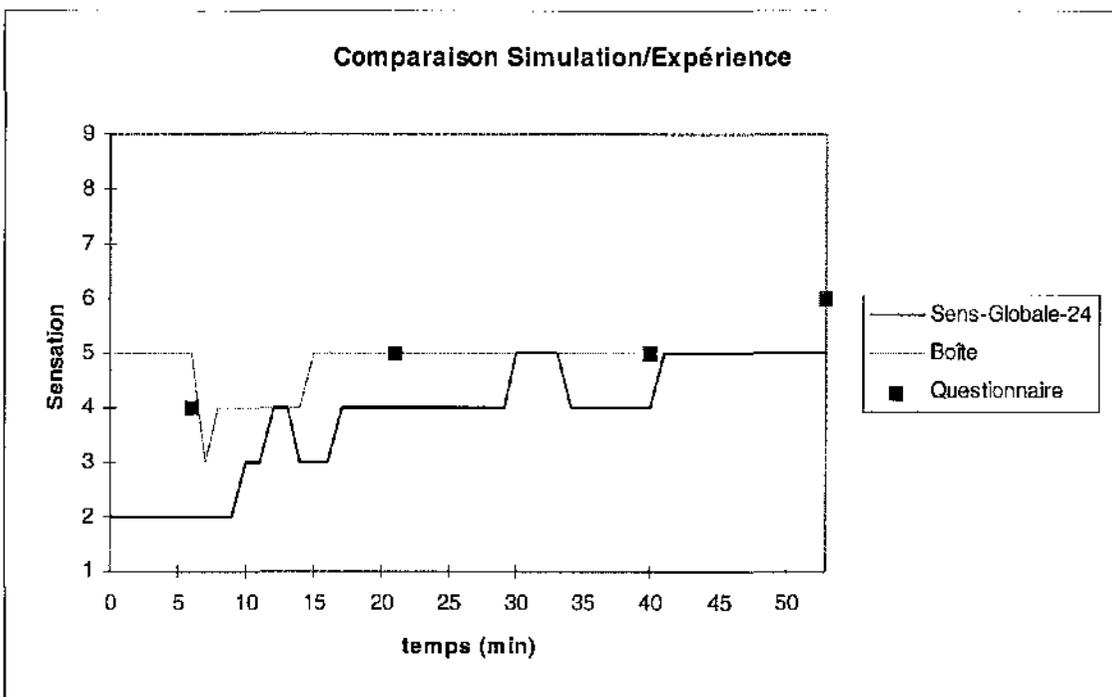
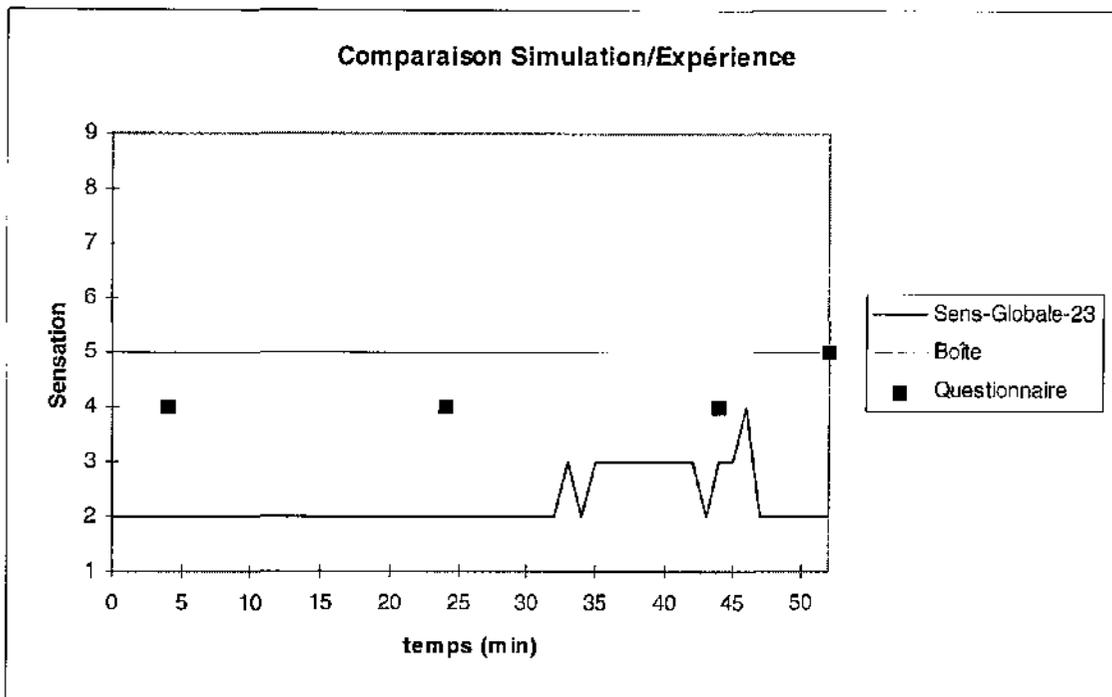


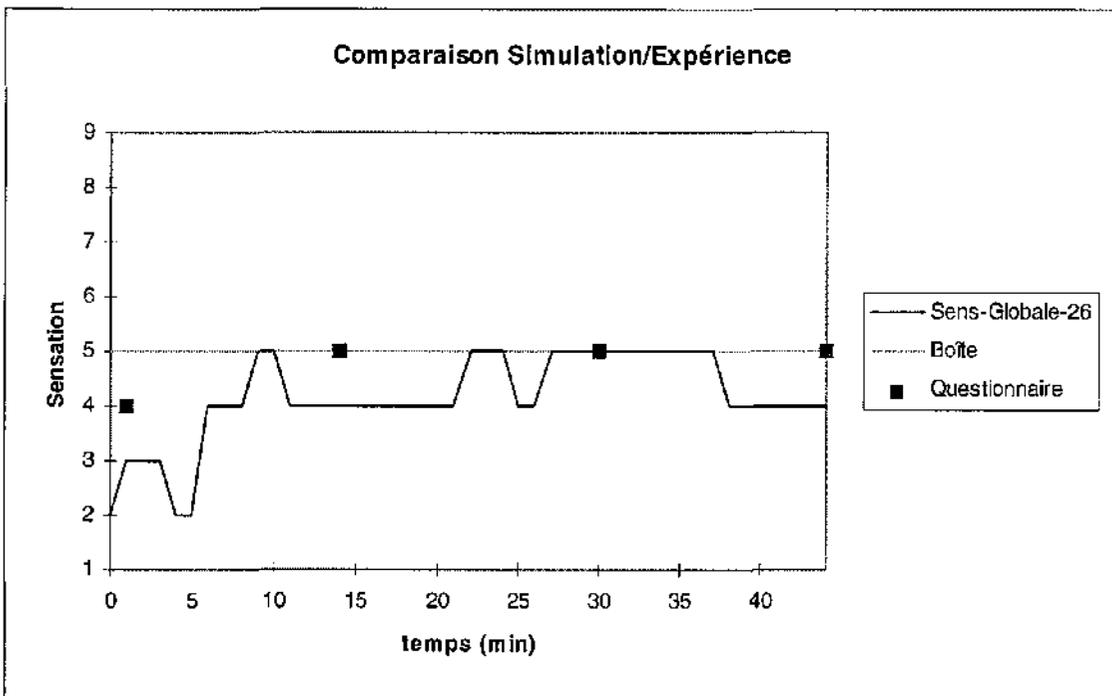
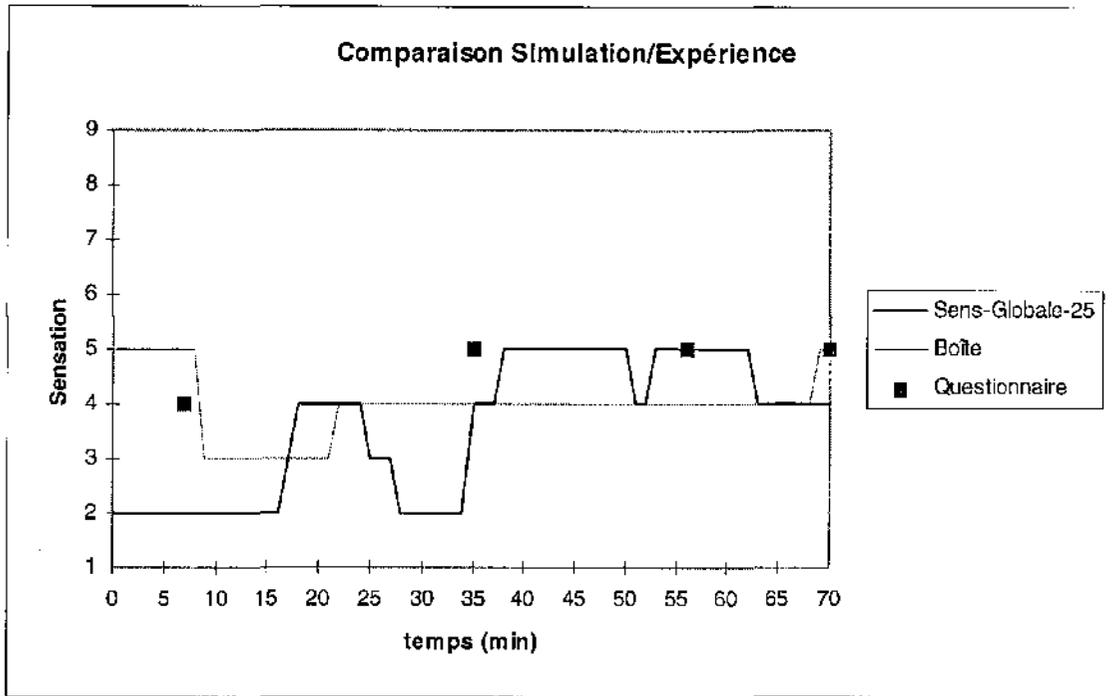


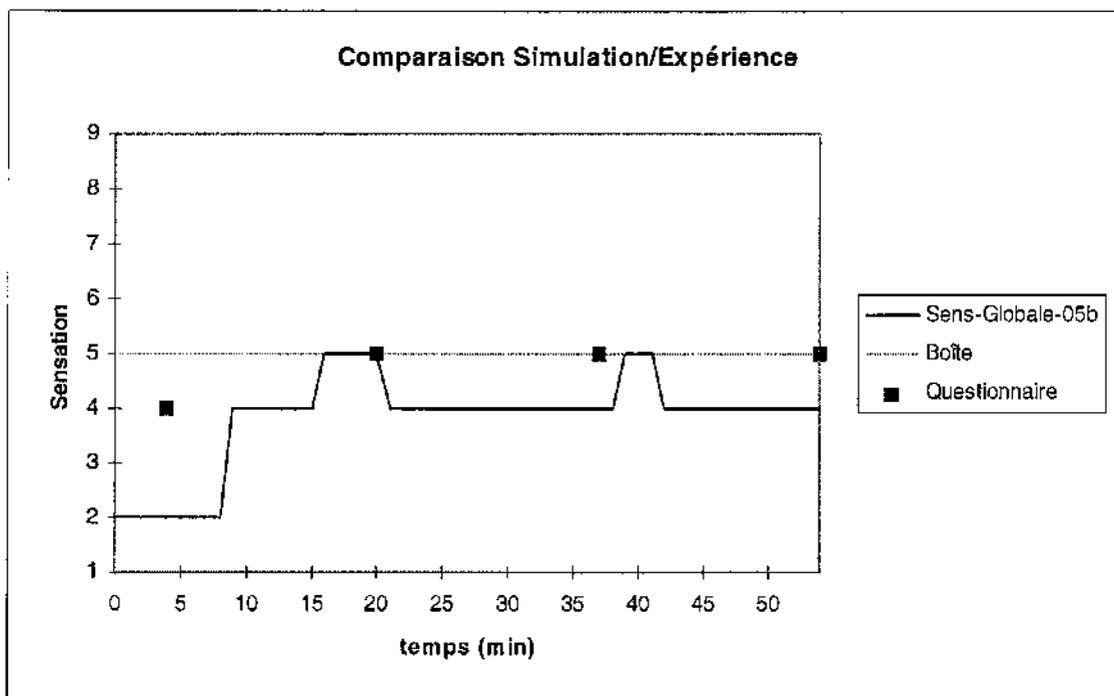
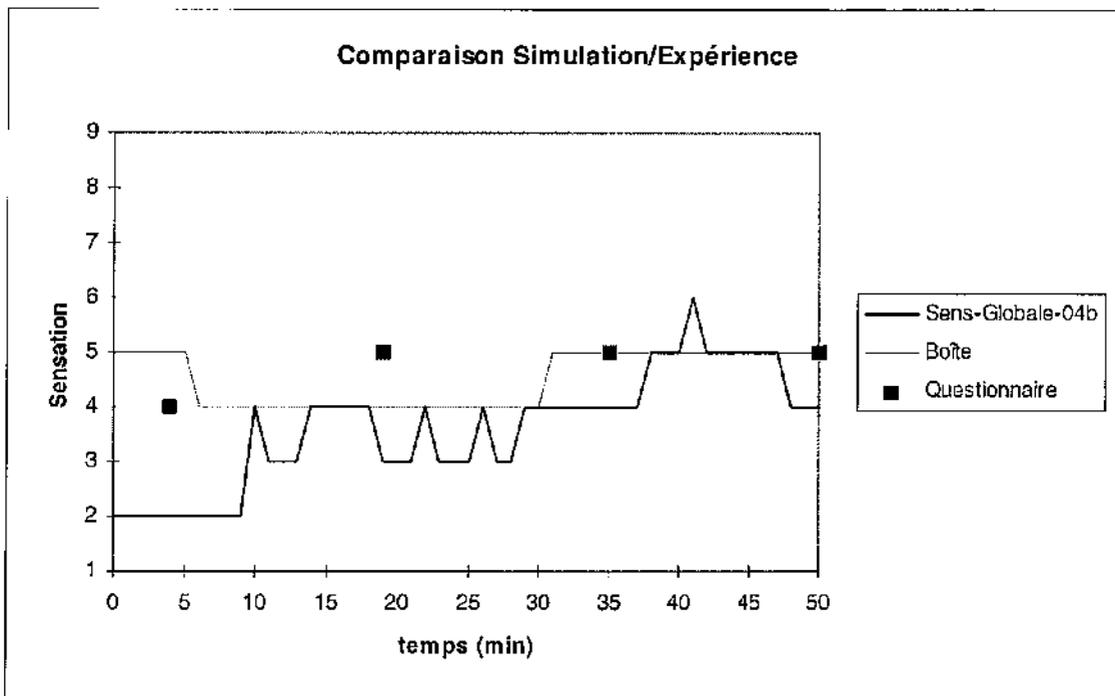




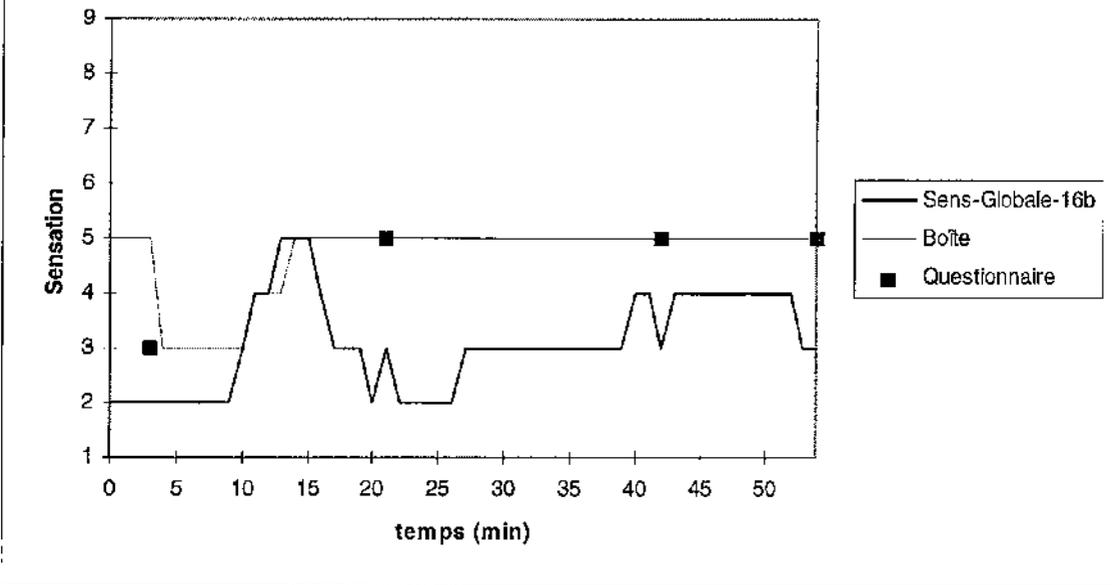




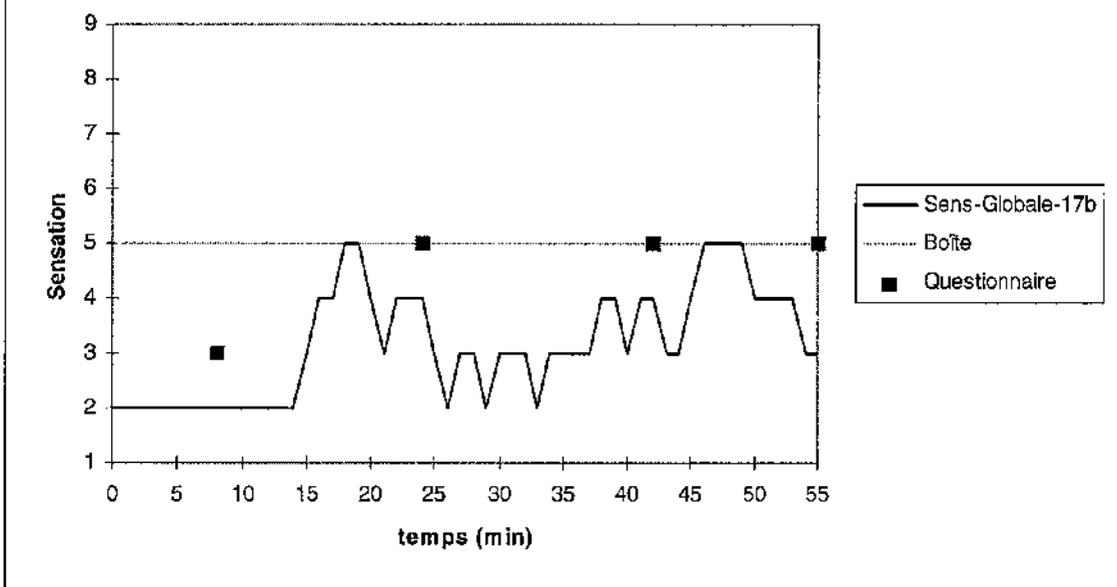




Comparaison Simulation/Expérience



Comparaison Simulation/Expérience



ANNEXE D

Fichiers résultant des simulations (exemple)

Fichiers disponibles pour chaque simulation

Sens-XX.txt

TIME	STETE	STRONC	SBRASD	SBRASG	SMAINS	SJAMBES	SPIEDS	SGLOBALE
0	5	5	5	5	5	5	6	5
0.0166667	5	5	5	5	5	5	6	5
0.0333333	5	5	5	5	5	5	6	5
...
0.05	5	5	5	5	5	5	6	5
1.31667	3	3	4	4	4	4	4	4
1.33333	3	3	4	4	4	4	4	4
1.35	3	3	4	4	4	5	4	4

Tsk-XX.txt

TIME	TTETE	TTRONC	TBRASD	TBRASG	TMAINS	TJAMBES	TPIEDS	TSK
0	34.9675	33.4866	33.1143	33.1149	33.5328	33.543	33.1299	33.5517
0.0166667	34.8414	33.5932	33.1724	33.1733	33.6786	33.6166	33.2834	33.6298
0.0333333	34.7274	33.6488	33.2224	33.2235	33.7564	33.6729	33.3411	33.674
...
1.3	30.0679	33.3818	34.0797	34.0814	30.5274	34.0619	29.7077	33.0779
1.31667	30.253	33.4094	34.0998	34.1021	30.5497	34.0605	29.6716	33.1021
1.33333	30.3773	33.4495	34.1319	34.1341	30.5897	34.0739	29.6445	33.1338
1.35	30.5391	33.5049	34.167	34.1689	30.6825	34.091	29.6397	33.18

Flux-XX.txt

TIME	QT	HFT	CONVT	RAYT	DRYT	EVAPT	RESP	RSOLT	QSUD
0	153.391	58.8512	-23.0529	-38.0174	-61.0704	-19.6092	-12.8027	0	0.00120008
0.0166667	153.4	54.4117	-23.2997	-38.3149	-61.6146	-23.6672	-12.8027	0	0.00184909
0.0333333	153.305	50.7537	-23.4415	-38.5233	-61.9648	-26.9621	-12.8027	0	0.00255613
...
1.3	161.037	26.4755	-68.5361	-37.0635	-105.6	-11.6254	-13.2981	0	0.0305404
1.31667	159.244	26.8365	-67.4852	-38.0121	-105.497	-11.533	-13.3351	0	0.0308048
1.33333	157.111	26.4524	-61.7613	-37.7486	-99.5039	-11.2843	-13.261	0	0.0310685
1.35	154.294	26.1541	-62.054	-38.3786	-100.433	-11.1707	-13.1756	0	0.0313317

Fconv-XX.txt

TIME	F-CONV-1	F-CONV-2	F-CONV-3	F-CONV-4	F-CONV-5	F-CONV-6	F-CONV-7
0	-2.93709	-4.77606	-2.22434	-2.22781	-2.5722	-6.23441	-2.18657
0.0166667	-2.90331	-4.80439	-2.258	-2.26165	-2.61154	-6.34584	-2.1745
0.0333333	-2.87278	-4.8298	-2.28085	-2.28461	-2.63253	-6.42269	-2.16639
...
1.3	-10.7971	-19.0935	-5.57189	-5.62823	-5.08456	-17.6847	-5.45794
1.31667	-10.0841	-17.2847	-5.35038	-5.43315	-5.06184	-18.7327	-6.1215
1.33333	-10.6492	-15.3215	-4.92867	-4.97458	-4.93639	-16.4149	-5.57946
1.35	-9.76736	-16.0681	-4.76038	-4.7799	-4.21649	-17.8174	-5.48972

Fray-XX.txt

TIME	F-RAY-1	F-RAY-2	F-RAY-3	F-RAY-4	F-RAY-5	F-RAY-6	F-RAY-7
0	-9.16559	-6.86009	-2.237	-2.22269	-1.61745	-13.2662	-2.64839
0.0166667	-9.01282	-6.84022	-2.30991	-2.29613	-1.66005	-13.574	-2.62173
0.0333333	-8.8909	-6.85698	-2.35406	-2.3406	-1.68874	-13.7884	-2.60367
...
1.3	-6.68362	-4.62286	-3.94142	-3.86855	-1.70076	-14.4804	-1.7659
1.31667	-6.79967	-4.68429	-4.11913	-4.00301	-1.70183	-14.8702	-1.83396
1.33333	-6.90824	-4.72769	-4.09271	-4.04561	-1.69662	-14.51	-1.76774
1.35	-6.95117	-4.97853	-4.15006	-4.13332	-1.69719	-14.7124	-1.75593

Chauffage d'une voiture électrique

Rapport d'avancement n°4

octobre 1997

CONFIDENTIEL

Laboratoire Etudes des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

Cédric MILVAQUE, Françoise MONCHOUX

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
1. CHAUFFAGE CONDUCTIF	3
1.1. Siège chauffant.....	3
1.2. Volant chauffant	4
2. CHAUFFAGE RADIATIF	9
2.1. Vitrage EKO.....	9
2.2. Influence des différentes surfaces chauffées	11
2.3. Influence prépondérante de la température de l'air inhalé	16
CONCLUSIONS	18

INTRODUCTION

Ce rapport illustre la phase de choix de solutions. Après les expérimentations sur le véhicule de référence et les simulations avec MATHER nous avons orienté la recherche de solutions vers un chauffage radiatif. Nous présentons dans ce document les principaux éléments qui nous ont amenés à faire ce choix.

1. CHAUFFAGE CONDUCTIF

D'après les analyses du LAA à partir de l'expérimentation sur le véhicule thermique, les attentes des conducteurs en matière de zones à chauffer sont les suivantes :

- le volant (62%) et le plancher (54% pour les femmes) ;
- le dossier du siège (45%), son assise (30%) et le plancher (30%) ;
- 53% des conducteurs (hommes et femmes) règlent le distributeur sur "tête et pieds".

Nous pouvons donc, à partir de ces résultats, essayer de répondre de la meilleure façon possible à ces attentes. Deux de ces zones sont des zones directement en contact avec le conducteur : le siège (assise et dossier) et le volant.

1.1. Siège chauffant

Le chauffage du siège ne présente pas de difficultés particulières du point de vue technologique. Par contre, cela pose un problème d'ordre physiologique. En effet, la spermatogenèse impose de ne pas chauffer trop. Elle nécessite une thermorégulation spéciale nettement plus basse que la température centrale (32 à 33°C). Un chauffage trop important peut entraîner des troubles dans cette thermorégulation. Ces troubles interviennent dans les causes de stérilité et de baisse de la fécondité de l'homme [voir références bibliographiques ci-dessous].

[1] DITTMAR (A.), DELHOMME (G.), PAUCHARD (T.), Le corps Humain : Un système thermique complexe, Congrès de la Société Française des Thermiciens, pp. 3-42, 1995.

[2] MIEUSSET (R.), BUJAN (L.), MANSAT (A.) GRANDJEAN and PONTONNIER (F.), Heat induced inhibition of spermatogenesis in man, Temperature and environmental effects on the testis, A.W Zorngiotti Ed., Plenum, N.Y., pp 233-237, 1991.

[3] SEALFON (A.I.) and A.W. ZORNGIOTTI, A theoretical model for testis thermoregulation, Temperature and environmental effects on the testis, A.W Zorngiotti Ed, Plenum, N.Y., pp 123-135, 1991.

Une précédente étude, menée au LESETH, a permis de mettre en évidence le fait que la température de la surface du siège rejoint très rapidement la température cutanée en contact. Celle-ci ne diminue que de 0.5 degré pendant les 2 premières minutes avant de retrouver sa valeur initiale. Il suffit donc de préchauffer le siège pour que la sensation thermique locale d'inconfort soit entièrement éliminée lorsque le conducteur s'assied. On pourra ensuite arrêter le chauffage du siège ou bien continuer à le chauffer mais avec une température modérée. Dans ce dernier cas, il vaudra mieux chauffer uniquement le dossier pour éviter le problème physiologique évoqué ci-dessus.

1.2. Volant chauffant

Le volant chauffant est l'autre mode de chauffage conductif plébiscité par les conducteurs. Le modèle n'intègre pas le volant chauffant pour les simulations mais on peut quand même étudier son influence. Pour chaque segment du conducteur, on fait, à chaque pas de temps, le bilan thermique des quatre couches (sang, muscle, graisse et peau). Pour tous les segments, on ne prend en compte (pour le bilan extérieur) que les échanges convectifs et radiatifs. En effet, dans sa configuration actuelle, le conducteur a les mains en l'air sans contact avec le volant. Si on veut simuler le contact entre les mains du conducteur et le volant, on doit modifier le bilan thermique. Il faut ajouter un flux conductif tout en diminuant les autres flux sur les mains.

Avant de toucher au modèle, il est intéressant d'évaluer expérimentalement le flux de conduction thermique entre le volant et les mains. Nous avons donc réalisé une série d'expériences permettant de connaître quantitativement le flux échangé entre le volant et les mains.

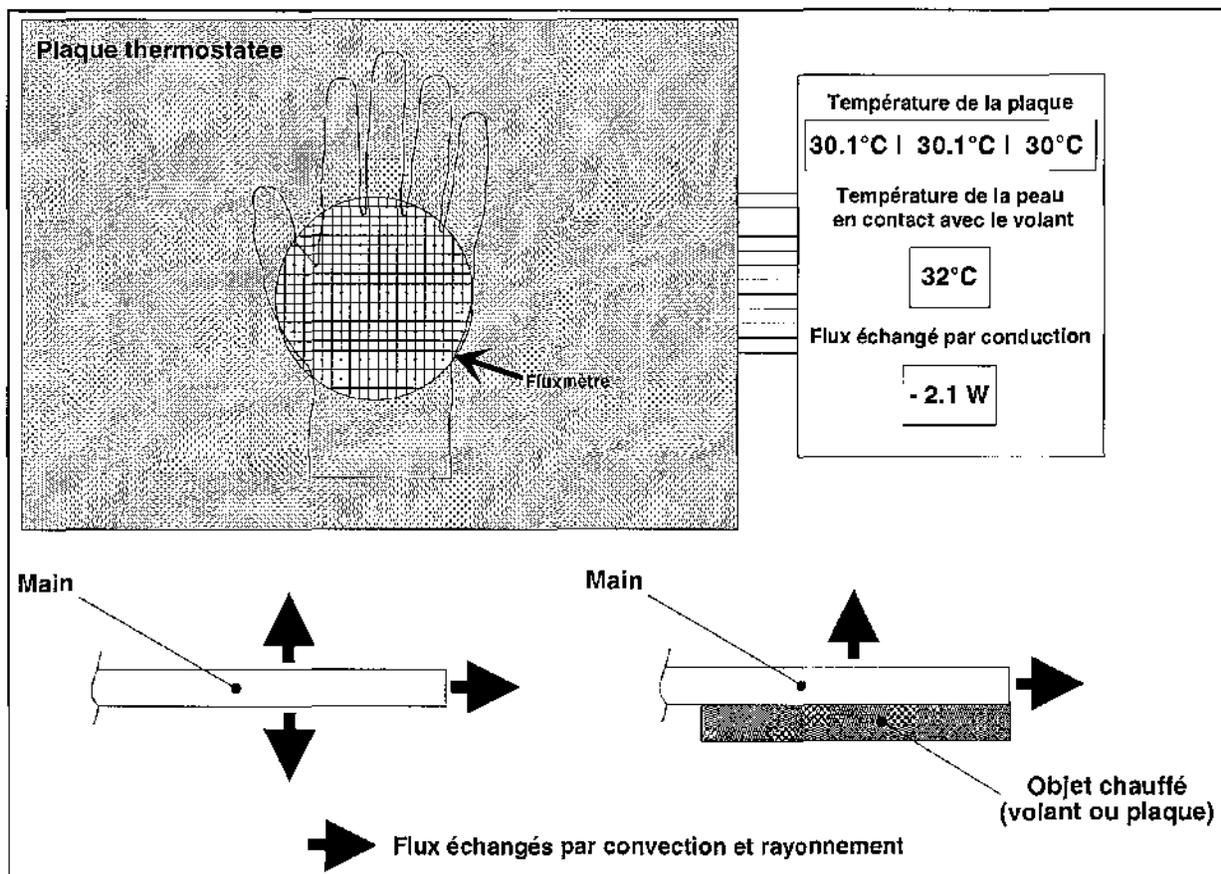


Figure 1.2-a : Schéma de l'expérience

On dispose d'une plaque plane régulée en température par un bain thermostaté. On pose la main sur la plaque en intercalant un fluxmètre étalonné (Cf. Figure 1.2-a). Pour des températures de la plaque (T_p) comprises entre 10 et 45°C, on note le flux échangé entre la main et la plaque (Cf. Tableau 1.2-a et Tableau 1.2-b) :

- au moment du contact (c'est le flux le plus élevé constaté) ;
- après 1 minute ;
- après 5 minutes pour $T_p = 20$ et 30°C.

On a constaté que le flux mesuré varie rapidement.

Les flux mesurés sont introduits dans le modèle en considérant que la surface de contact entre la main et le volant est sensiblement égale à celle que l'on a établie avec la plaque thermostatée. Les flux échangés avec l'environnement par convection et rayonnement sont diminués au prorata des surfaces d'échanges restantes.

Tp (°C)	Flux sur les mains (2s) en W	Flux sur les mains (60s) en W
10	-29.6	-16.2
15	-23.4	-12.8
20	-17.8	-9.5
25	-10.5	-5.7
30	-4.7	-2.8
35	2.0	0.4
40	9.5	4.0
45	22.3	11.3

Tableau 1.2-a : Flux échangé par conduction entre les mains et la plaque thermostaté

temps(s)	Flux (Tp=20°C)	Flux (Tp=30°C)
0	-17.7	-3.7
10	-15.7	-3.4
30	-12.2	-3.3
60	-10.2	-2.6
90	-7.5	-2.3
120	-7.7	-2.4
180	-6.7	-2.3
300	-6.6	-2.2

Tableau 1.2-b : Evolution du flux pendant les 5 premières minutes

On comparera les résultats de ces nouvelles simulations avec les précédentes n'intégrant pas les échanges conductifs avec le volant.

On présente 3 simulations représentatives des situations suivantes :

- **Simulation 1** : sans contact des mains avec le volant (sansV)

Cette simulation représente la situation où le conducteur est dans la voiture avec les mains en l'air. Il y a bien un volant dans l'habitacle mais les mains ne sont pas en contact avec lui. Cette simulation est du même type que celles utilisées tout au long de notre étude. Les conditions à l'intérieur de l'habitacle sont les suivantes :

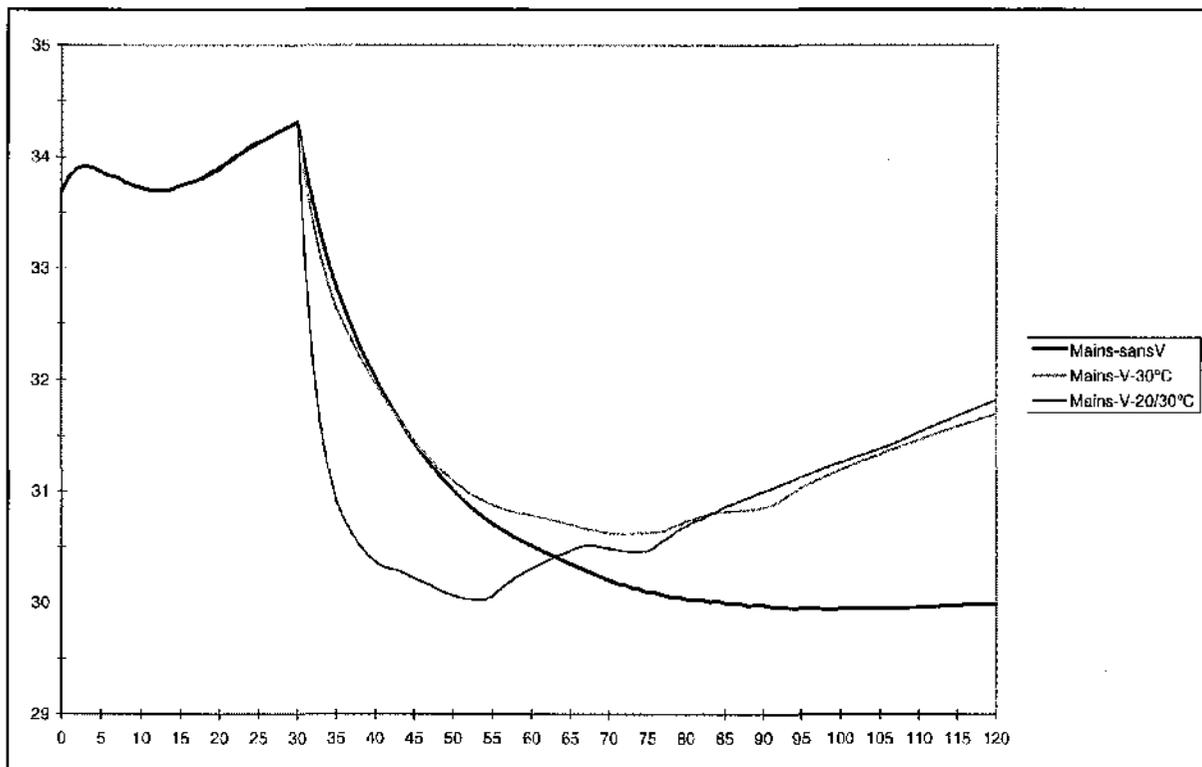
- Mise en équilibre initiale de 30 minutes ;
- Températures d'air à 10°C ;
- Températures de surfaces à 10°C ;
- Vitesses d'air à 0.1 m/s ;
- Humidité relative égale à 50 % ;
- Surfaces chauffées à 45°C (pavillon, appui-tête et tapis côté conducteur) ;
- Pare-brise à 15°C ;
- Température d'air au niveau des pieds et température d'air inhalé à 20°C ;
- Volant à 30°C.

- **Simulation 2** : mains en contact avec le volant préchauffé (V-30°C)

Les conditions à l'intérieur de l'habitacle sont les mêmes que pour la simulation 1 (voir ci-dessus). Cette simulation représente la situation où le conducteur entre dans le véhicule avec le dispositif de chauffage en marche. La seule différence avec la simulation 1 est que pour cette simulation, nous avons ajouté au modèle un contact des mains avec le volant chauffant. En fait, on n'a pas modélisé physiquement entièrement le contact entre les mains et le volant mais on a ajouté dans le bilan thermique au niveau des mains le flux conductif déterminé expérimentalement. Pour un volant à 30°C, nous connaissons le flux pendant les 5 premières minutes et on suppose que ce flux va diminuer tout au long de la simulation pour s'annuler quand la peau sera à 30°C, comme nous l'avons constaté expérimentalement. Une partie des mains étant en contact avec le volant on diminue les échanges radiatifs et convectifs sur les mains. On ajoute donc un flux conductif tout en diminuant les flux dûs aux 2 autres modes d'échanges.

- **Simulation 3** : mains en contact avec volant non préchauffé (V-20/30°C)

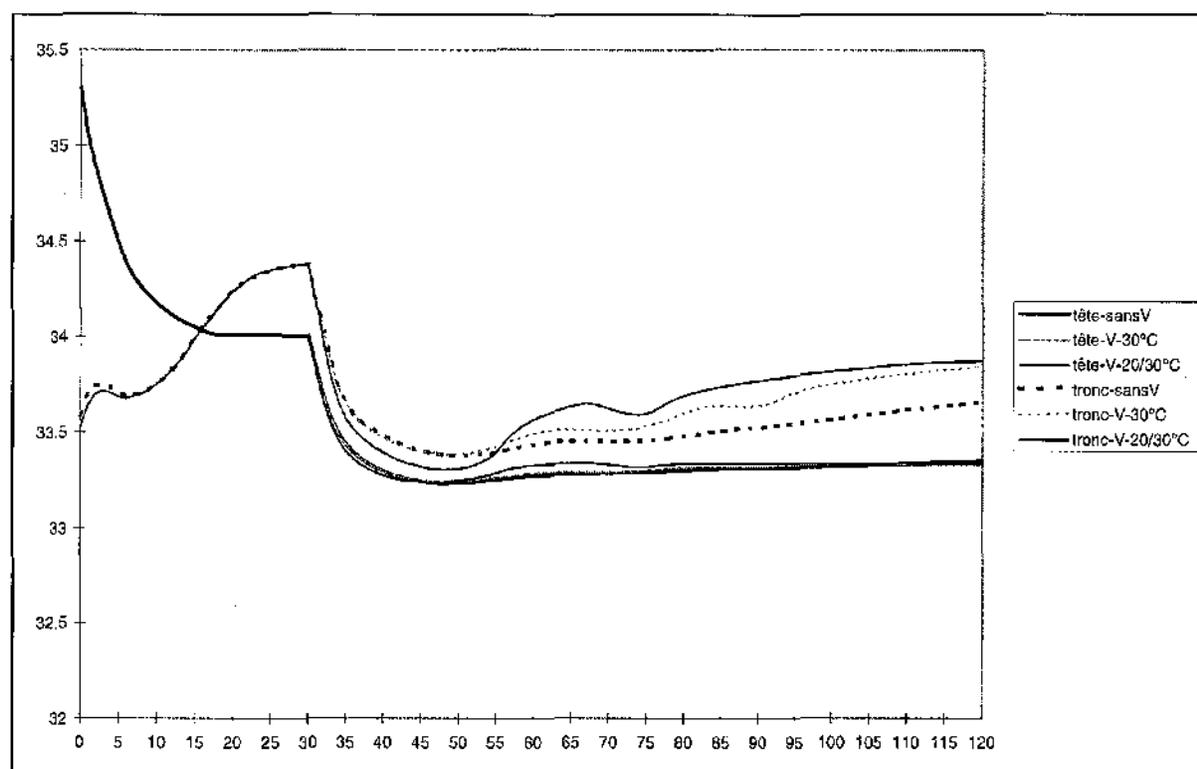
On reprend la simulation 2 en considérant que le volant n'est pas préchauffé et qu'il est mis en marche dès que le conducteur entre dans le véhicule. Le volant met 5 minutes pour attendre 20 °C et 10 minutes pour atteindre la température de 30°C. Cette température est la température de consigne du volant chauffant.



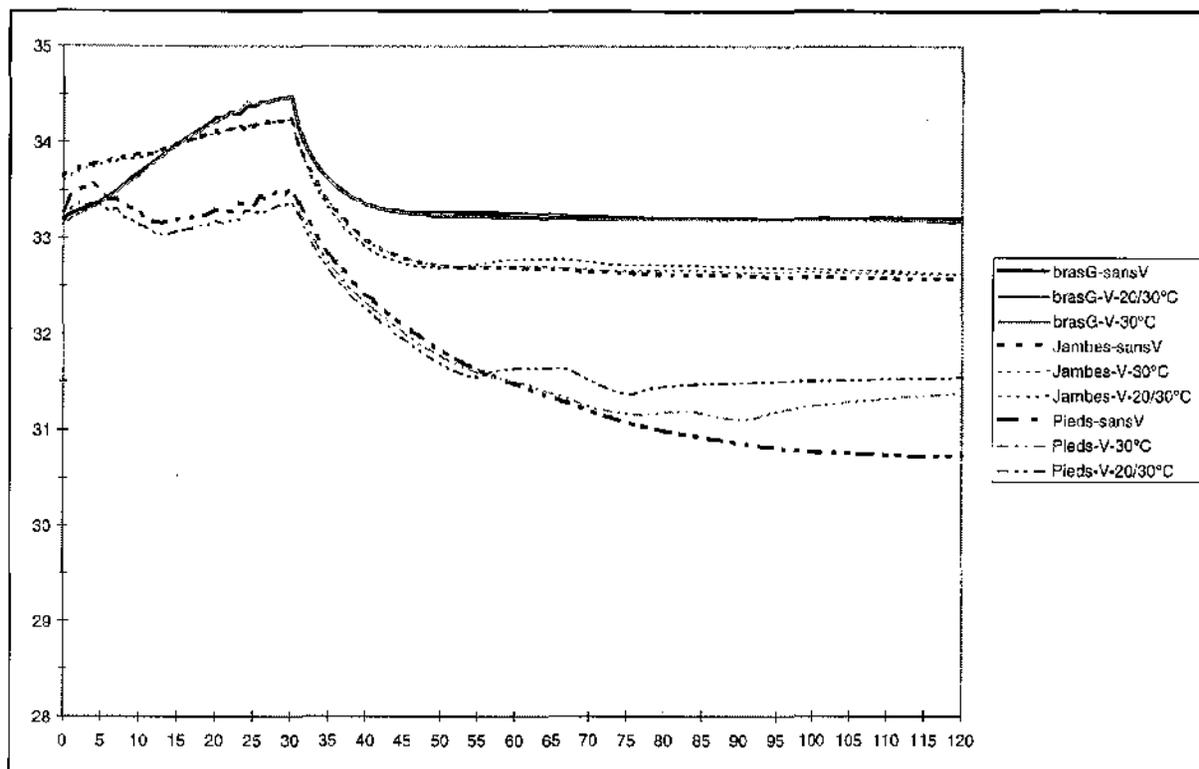
Graphie 1.2-a : Température de peau des mains

On remarque que pendant les 15 premières minutes après la rentrée dans le véhicule les simulations 1 et 2 donnent le même résultat en ce qui concerne la température de peau des mains (Cf. Graphie 1.2-a). Après ces 15 minutes, la température de peau des mains de la simulation 1 continue de s'abaisser alors que celle de la simulation 2 s'équilibre pour remonter à partir 40 minutes (après l'entrée dans la voiture). Ceci nous montre que dans la

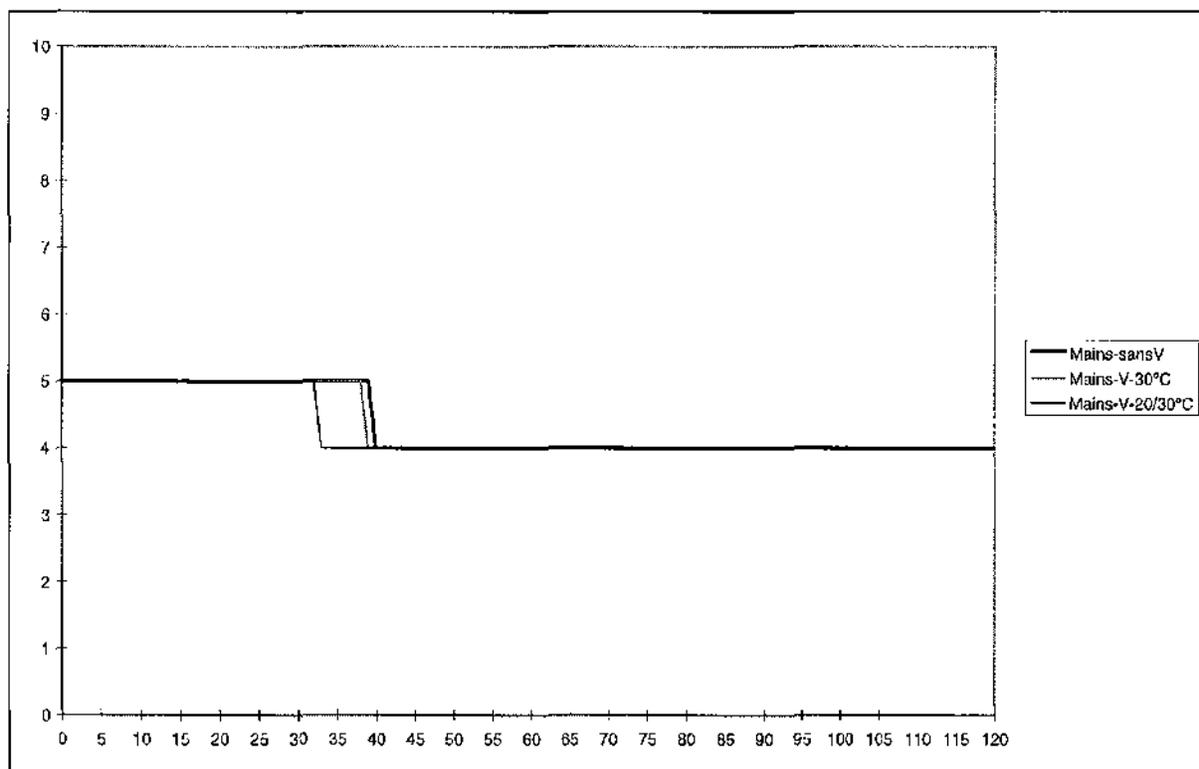
période qui nous intéresse, les simulations effectuées sans tenir compte de la conduction au niveau du volant s'apparentent (dans les premières minutes en tous cas) à des simulations intégrant un volant à 30°C. Ceci nous indique donc que les simulations antérieures sont assez optimistes pour le calcul de la température de peau des mains. On peut aussi remarquer que l'intégration du volant chauffant n'affecte que les mains. En aucun cas, la température de peau des autres segments n'est sensiblement modifiée (Cf. Graphe 1.2-b et Graphe 1.2-c).



Graphe 1.2-b : Evolution des températures de peau



Graphe 1.2-c : Evolution des températures de peau



Graphe 1.2-d : Sensation au niveau des mains

La sensation locale sur les mains est modifiée par le chauffage du volant pendant les premières minutes (Cf. Graphe 1.2-d). Cependant, la sensation globale et la sensation sur les 6 autres segments du corps ne sont pas modifiées. En fait, seule la température de peau des mains est suffisamment influencée pour pouvoir modifier la sensation locale sur les mains.

Les autres températures de peau sur les 6 autres segments du conducteur n'étant pas fortement modifiées, les sensations locales correspondantes ne varient pas avec un contact entre les mains et le volant chauffant.

2. CHAUFFAGE RADIATIF

La recherche de solutions alternatives de chauffage dans le véhicule électrique s'oriente vers un chauffage radiatif. Nous allons donc chauffer des surfaces de la 106 afin de diminuer les pertes radiatives du conducteur. On va aussi utiliser un vitrage EKO à faible émissivité. On ne doit cependant pas oublier que la température de l'air inhalé intervient dans le calcul des sensations. La diminution des pertes radiatives a une influence directe sur les températures de peau mais cela ne suffit pas à amener le conducteur à une situation de confort thermique.

2.1. Vitrage EKO

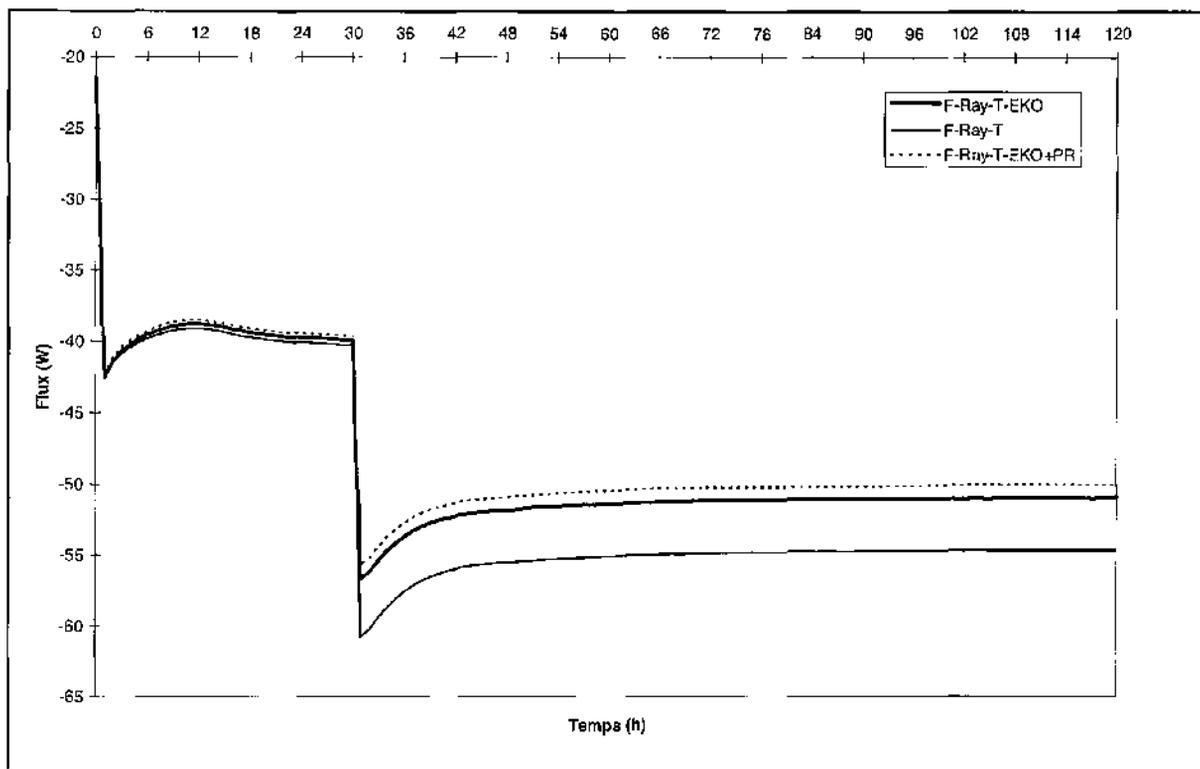
L'utilisation de verre EKO dans la 106 électrique permet de diminuer les pertes radiatives humaines à l'intérieur de l'habitacle. Ceci grâce à la faible émissivité de ces vitrages. Un verre classique a une émissivité de 0.9 alors que ceux-là ont une émissivité de 0.22 dans l'infrarouge.

Tous les vitrages seront équipés en vitrage EKO sauf la lunette arrière. En fait, on utilise des vitrages déjà utilisés lors d'une précédente étude menée à la DRAS. Le pare-brise sera lui aussi EKO. Il sera en plus chauffant afin de nous affranchir des problèmes de désembuage. Le fait que le pare-brise soit chauffant permettra aussi de diminuer les pertes radiatives car il constitue une surface très importante proche du conducteur.

Le graphe ci-dessous (Cf. Graphe 2.1-a) représente l'évolution du flux total rayonné avec et sans vitrage EKO. La courbe en pointillés représente le flux total rayonné avec vitrage EKO mais aussi avec un garnissage sous colonne de direction à faible émissivité (0.6).

On observe bien l'influence positive des vitrages EKO. La différence est comprise entre 4 Watts et 5 Watts ce qui correspond à environ 9% de gain. Ce gain est plus important sur les grandes surfaces du conducteur proches des vitrages (tête et tronc).

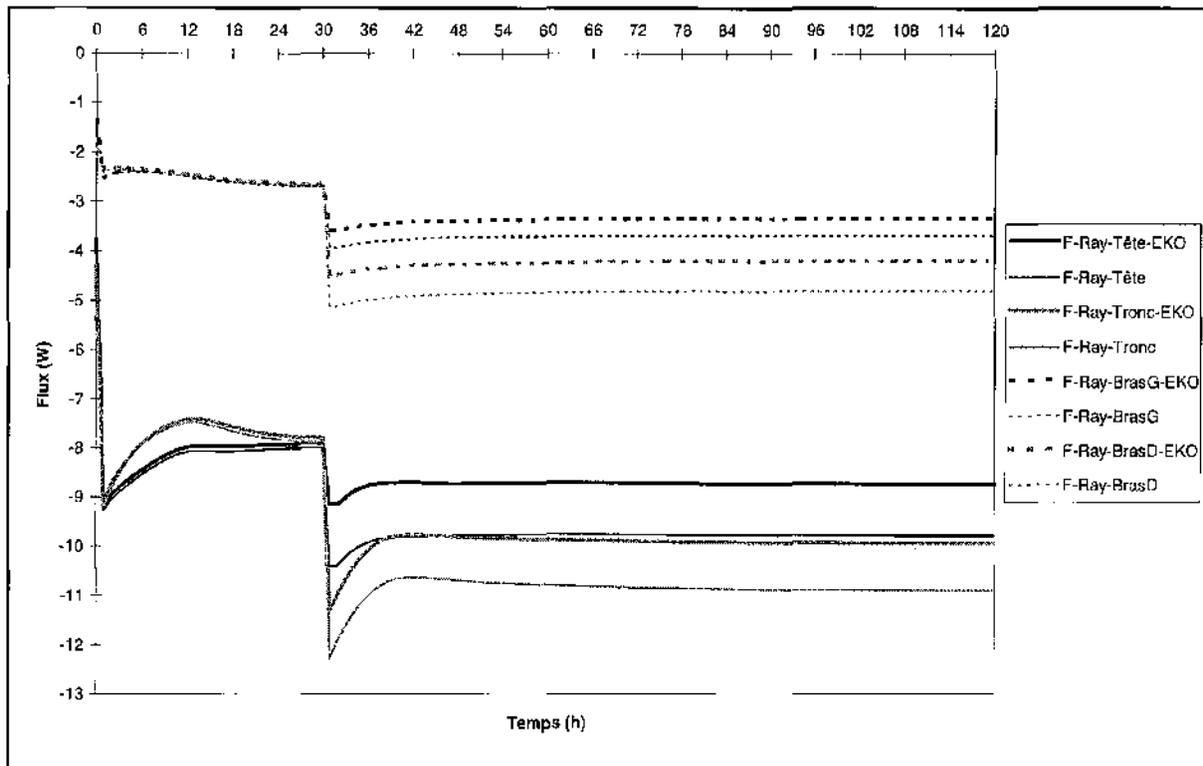
La diminution des pertes radiatives sur chaque partie du conducteur va entraîner une augmentation des températures cutanées. On verra plus tard que la seule augmentation de la température de peau ne suffit pas pour augmenter la sensation. En effet, la température de peau rentre seulement pour moitié dans le calcul des sensations, l'autre moitié étant la température de l'air inhalé.



Graphe 2.1-a : Comparaison vitrage classique/EKO - Pertes rayonnées totales

Les simulations présentées sur les graphes 2.1-a et 2.1-b représentent la situation où le conducteur entre au bout de 30 minutes dans le véhicule froid avec :

- Mise en équilibre initial de 30 minutes ;
- Températures d'air à 10°C sauf la température de l'air inhalé égale 20°C ;
- Températures des surfaces à 10°C sauf pour le pavillon, l'appui-tête et le tapis chauffants qui sont à 40°C. Le pare-brise est à 15°C ;
- Vitesses d'air à 0.1 m/s ;
- Humidité relative égale à 50 %.



Graph 2.1-b : Comparaison vitrage classique/EKO - Pertes rayonnées locales

2.2. Influence des différentes surfaces chauffées

Nous avons choisi d'équiper la voiture en panneaux chauffants. Les surfaces chauffées seront :

- Le pavillon (partie avant et partie arrière)
- L'appui tête
- Le tapis sous les pieds (côté conducteur et côté passager)
- Le pare-brise

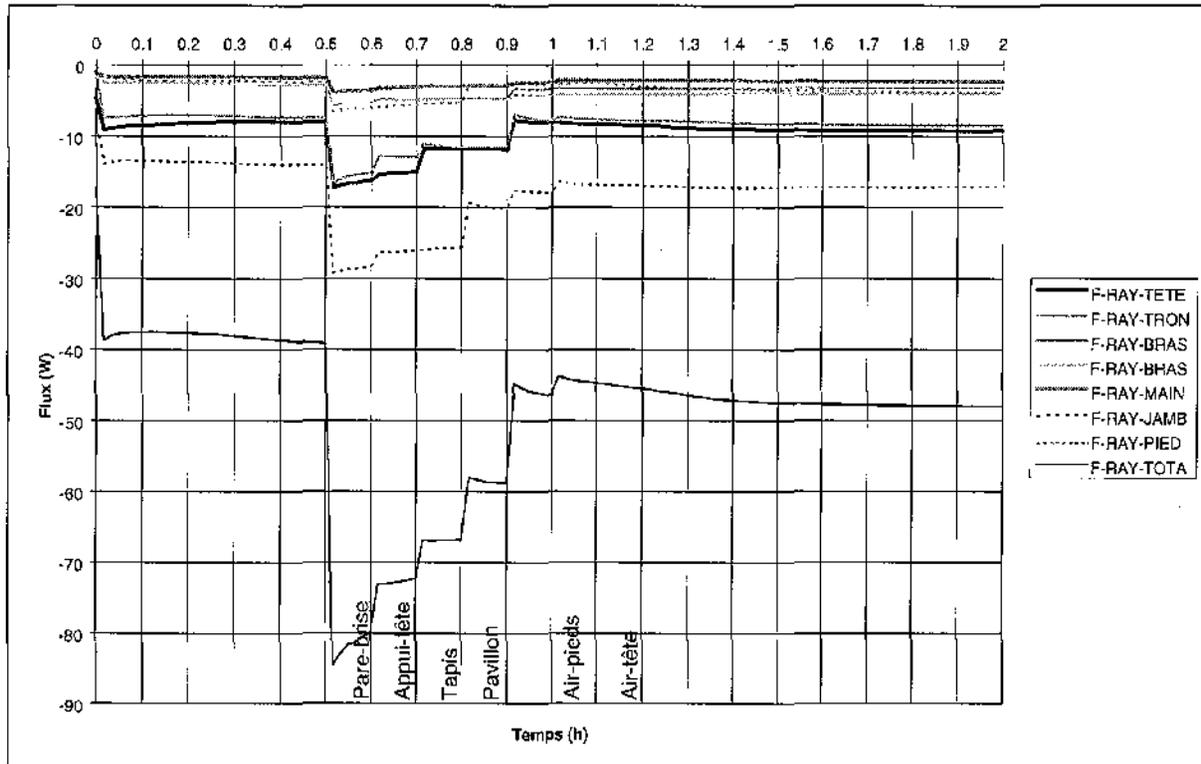
Nous n'utiliserons pour les simulations que ces 4 surfaces chauffantes. L'influence des autres surfaces sera étudiée plus tard en fonction de l'avancement de l'étude. Le pare-brise est maintenu à 40°C alors qu'il apparaît que, en conditions très froides, on observe au maximum une température de 15 à 20°C.

Pour toutes les simulations présentées dans ce paragraphe, les conditions sont les suivantes :

- Mise en équilibre initiale de 30 minutes ;
- Températures d'air à 10°C ;
- Températures de surfaces non chauffées à 10°C ;
- Vitesses d'air à 0.1 m/s ;
- Humidité relative égale à 50% ;
- Emissivité des vitrages à 0.4 ;
- Garnissage sous colonne de direction réfléchissant (Emissivité = 0.6).

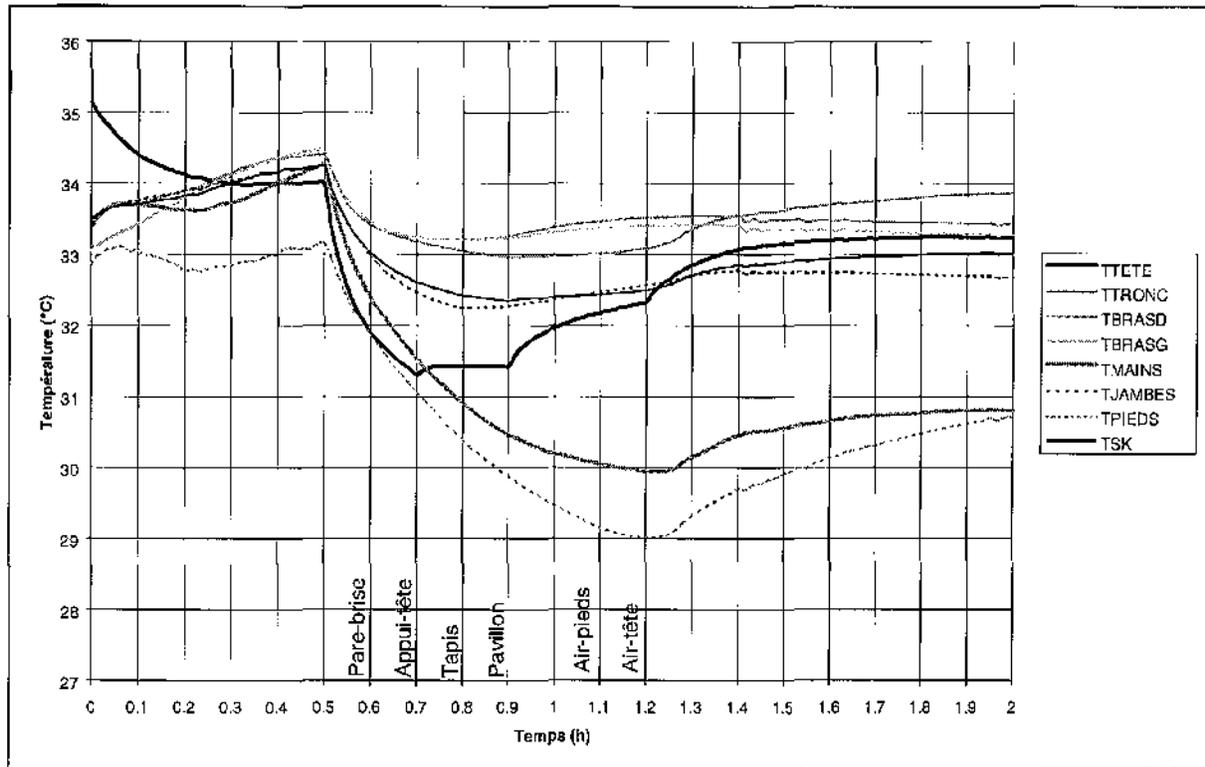
Premier scénario : fonctionnement progressif des éléments chauffants. Le conducteur entre dans la voiture froide et met en marche successivement les éléments chauffants (Cf. Graphe 2.2-a, Graphe 2.2-b et Graphe 2.2-c) :

- à 0.6 h → Ts du Pare-brise passe de 10 à 40°C ;
- à 0.7 h → Ts Appui-tête passe de 10 à 40°C ;
- à 0.8 h → Ts Tapis chauffant passe de 10 à 40°C ;
- à 0.9 h → Ts Pavillon passe de 10 à 40°C ;
- à 1.1 h → Tair pieds passe de 10 à 20°C ;
- à 1.2 h → Tair tête passe de 10 à 20°C .



Graph 2.2-a : Evolution des flux rayonnés (scénario 1)

Cette simulation nous permet de mettre en évidence l'effet de chacun des éléments chauffants sur les flux rayonnés (Cf. Graphe 2.2-a). On remarquera l'influence particulière du pavillon et de l'appui-tête sur le flux local rayonné par la tête.



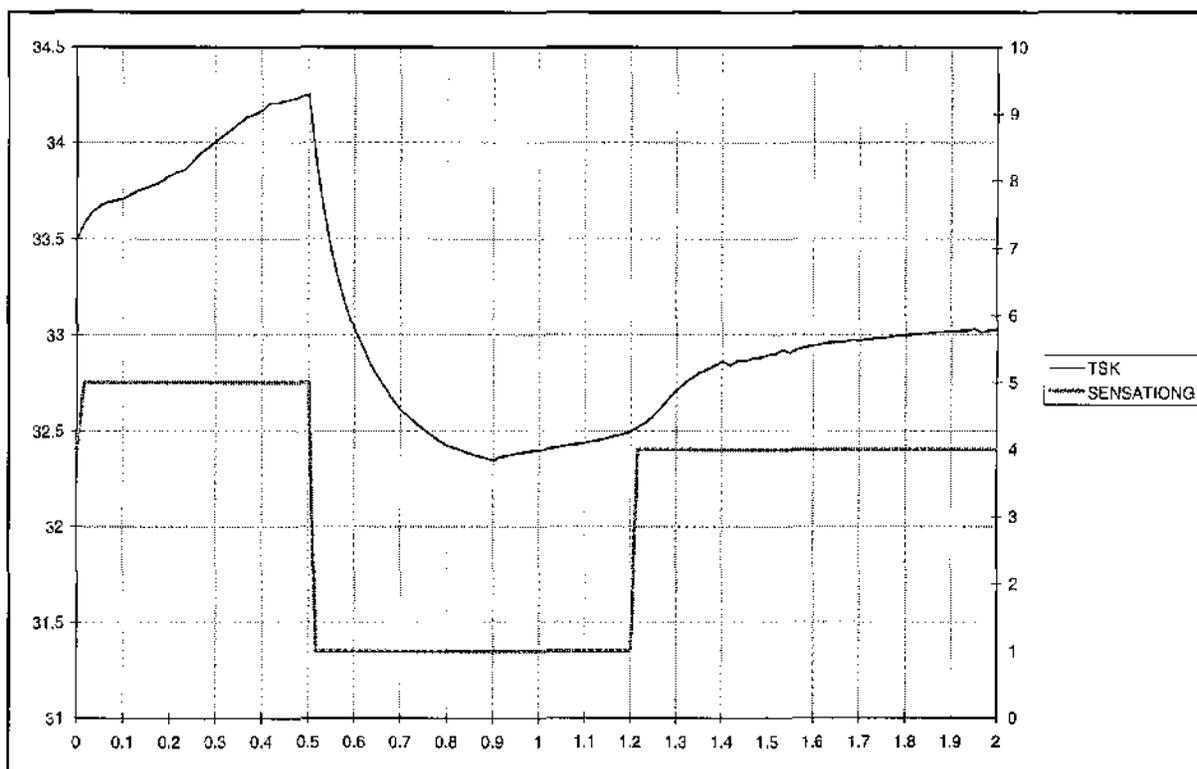
Graph 2.2-b : Evolution des températures de peau (scénario 1)

On trace aussi l'évolution des températures de peau des 7 segments du conducteur (Cf. Graph 2.2-b). La température de la tête est fortement influencée par l'appui-tête et par le pavillon chauffant. Alors que les autres températures de peau ne sont pas influencées instantanément, la tête réagit tout de suite aux variations des éléments chauffants proches d'elle. On voit bien les 2 points de changement de pente à la mise en marche de l'appui-tête (0.7 h) et du pavillon chauffant (0.9 h). On peut aussi voir l'influence de la température d'air au niveau de la tête (qui est aussi la température de l'air inhalé). En effet, on a aussi une augmentation brutale de la température de peau quand la température de l'air passe de 10 à 20°C.

On peut remarquer (Cf. Graph 2.2-c) que la sensation globale de confort du conducteur chute instantanément à l'entrée dans la voiture et qu'elle ne remonte que lorsque la température de l'air inhalé passe à 20°C (à 1.2 h).

Remarque : On considère dans toutes les simulations que les surfaces chauffées passent instantanément de 10 à 40°C. Dans la réalité, il faudra penser que ce n'est pas possible et il faudra intégrer le temps de montée en température des tissus chauffants. On a utilisé une température maximum de 40°C alors que les tissus peuvent atteindre 45°C. On utilisera cette dernière valeur dans les simulations futures.

Nous avons utilisé, pour toutes les simulations présentées dans ce chapitre, une émissivité de 0.4 pour les vitrages EKO. Cette valeur est en fait égale à 0.22. Les simulations ayant toutes été réalisées avant de recevoir les caractéristiques des vitrages EKO, nous avons utilisé la valeur donnée en réunion par PSA. Cela affecte les résultats des simulations mais dans une proportion qui ne change rien à l'analyse.

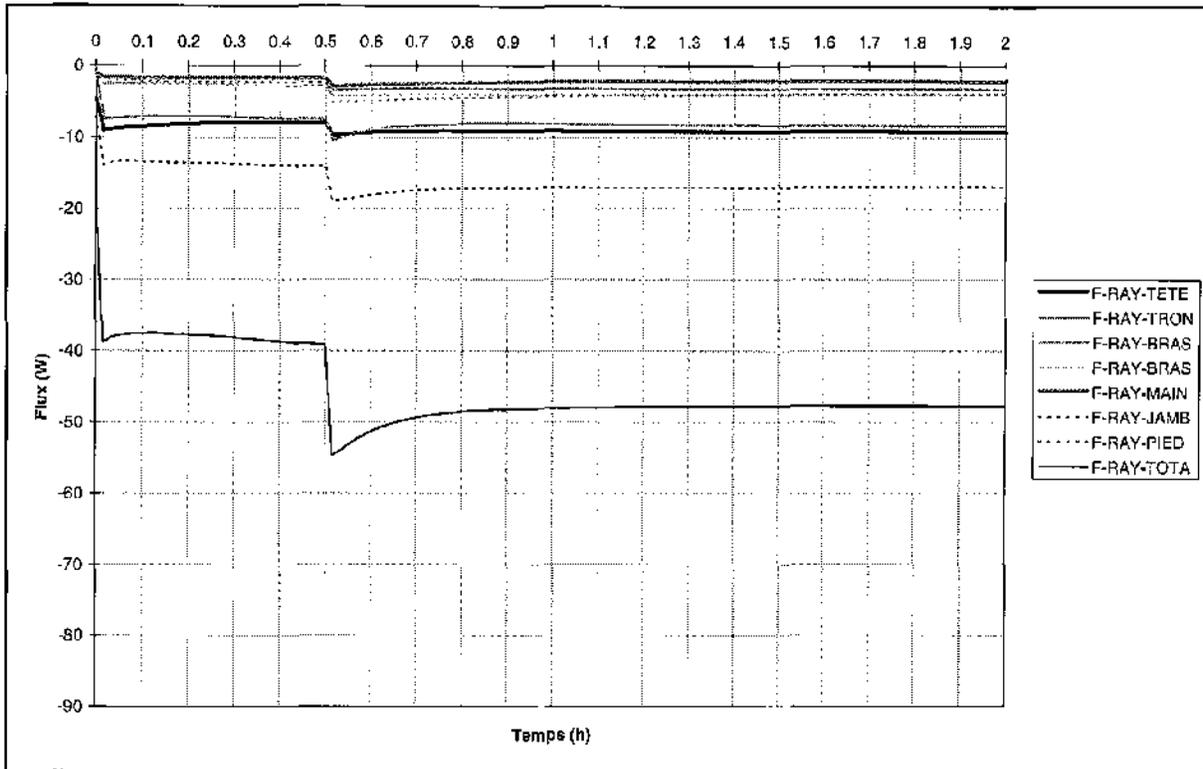


Graphe 2.2-c : Evolution de la Tsk et de la sensation globale (scénario 1)

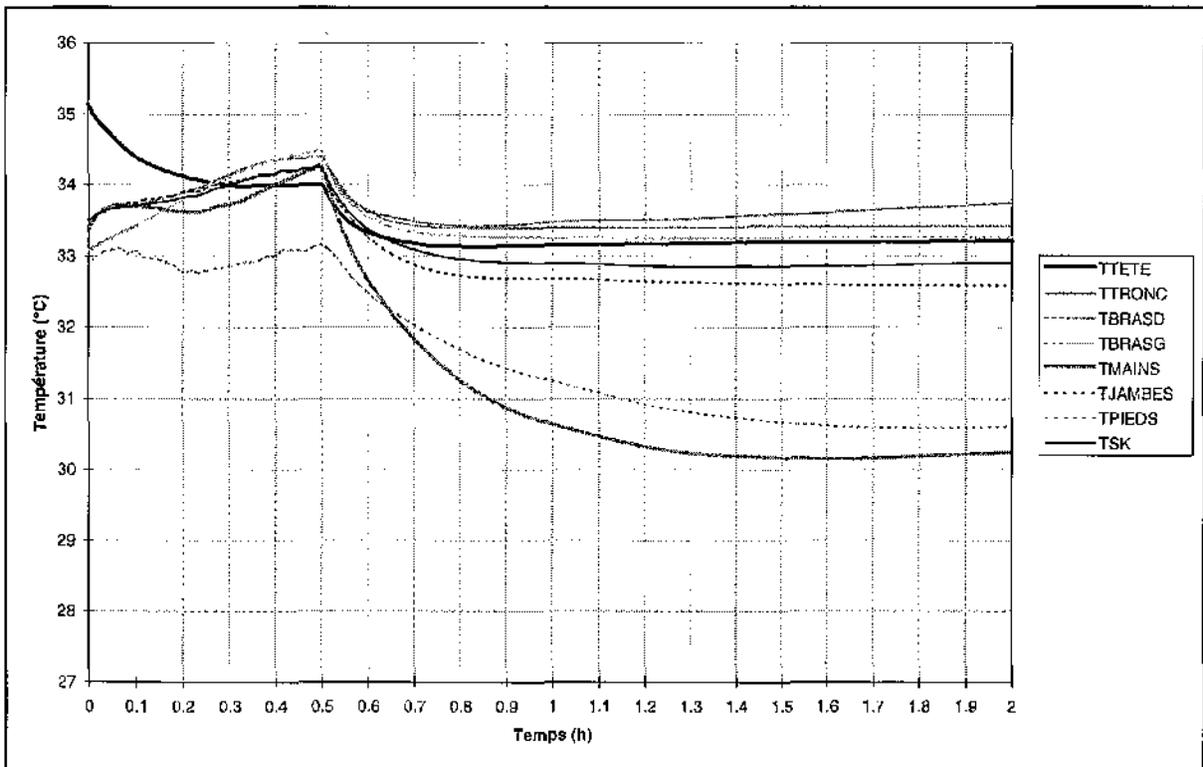
Deuxième scénario : surfaces chauffées, air inhalé chaud. Ce scénario représente la situation où, à l'entrée du conducteur dans le véhicule, les éléments chauffants sont déjà en marche : la voiture a été préchauffée.

Dans cette situation les pertes radiatives (Cf. Graphe 2.2-d) sont grandement diminuées dès le début ce qui permet de diminuer la chute des températures de peau (Cf. Graphe 2.2-c). On peut remarquer l'efficacité des surfaces chauffantes. Elles permettent de passer de 85 W (Cf. Graphe 2.2-a) de pertes radiatives à 55 W. Les pertes pourront encore être diminuées et le confort amélioré si on utilise les autres éléments chauffants disponibles (tapis passager, siège passager, partie arrière du pavillon).

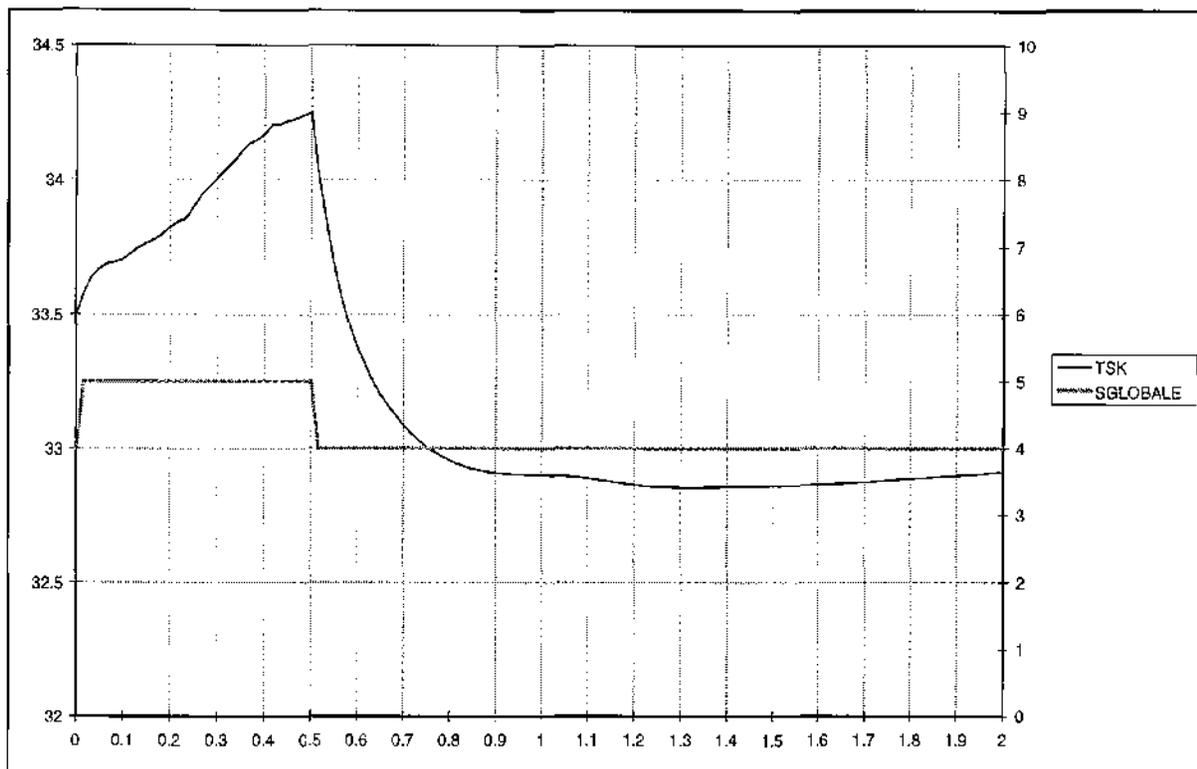
Pour ce scénario, la sensation globale reste à 4 (confort froid) dès l'entrée dans le véhicule (Cf. Graphe 2.2-f).



Graphe 2.2-d : Evolution des flux rayonnés (scénario 2)



Graphe 2.2-e : Evolution des températures de peau (scénario 2)



Graphe 2.2-f : Evolution de la Tsk et de la sensation globale (scénario 2)

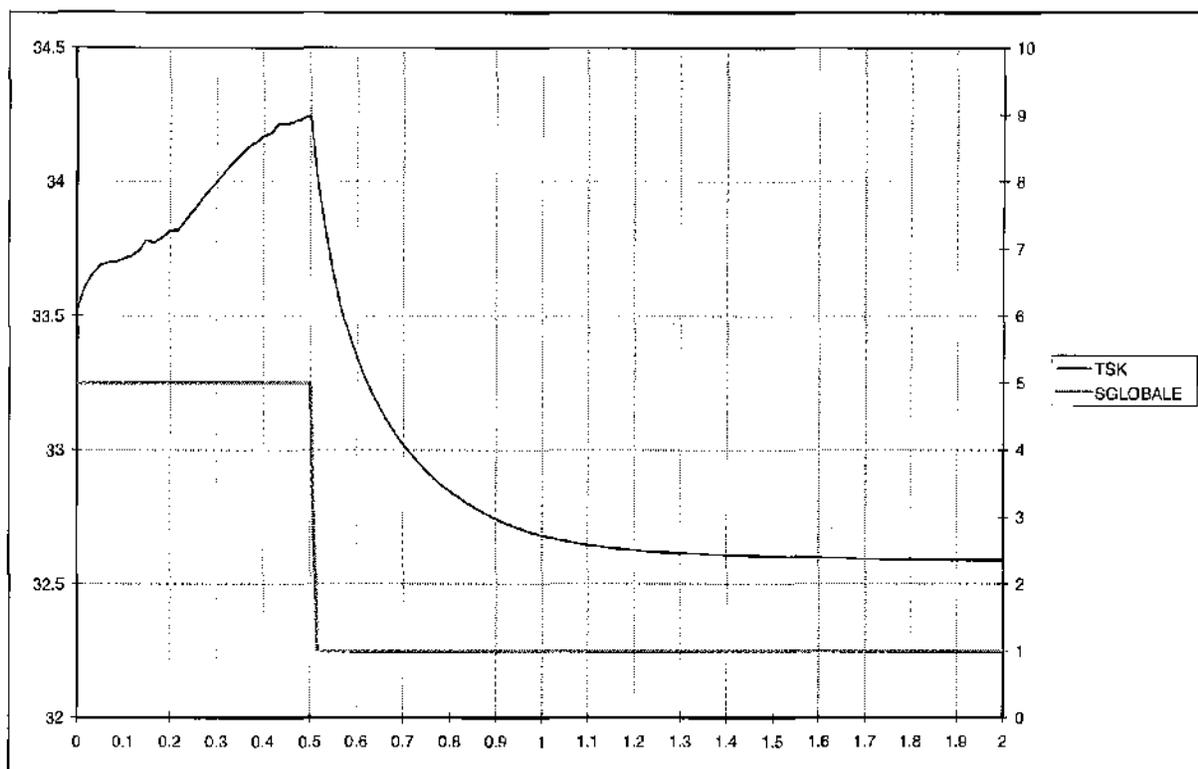
2.3. Influence prépondérante de la température de l'air inhalé

Troisième scénario : surfaces chauffées, air inhalé froid.

Le graphe ci-dessous (Cf. Graphe 2.3-a) représente l'évolution de la température de peau et de la sensation globale dans une situation identique au deuxième scénario mais avec une température d'air inhalé (température d'air au niveau de la tête) restant égale à 10°C.

Les systèmes de chauffages radiatifs sont en marche à l'entrée dans la voiture, la température de l'air au niveau des pieds est de 20°C.

Cette simulation met en évidence le fait que les seuls éléments chauffants ne suffisent pas à donner une situation de confort au conducteur. On ne pourra pas atteindre la note de 4 ou de 5 tant que le conducteur respirera un air froid. Ce résultat était prévisible car le calcul des sensations dépend pour moitié des températures de peau mais aussi pour moitié de la température de l'air inhalé (Cf. Rapports précédents).



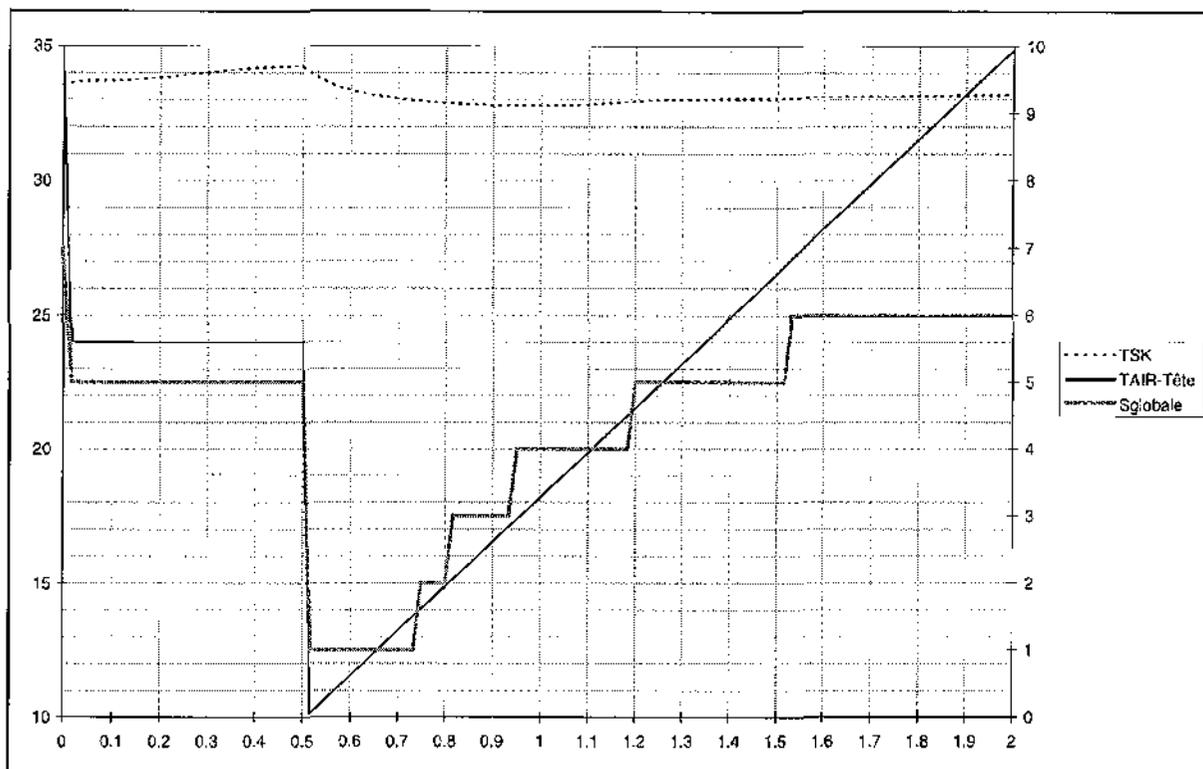
Graph 2.3-a : Evolution de la Tsk et de la sensation globale (Tair-tête à 10°C)

Quatrième scénario : surfaces chauffées, température croissante de l'air inhalé.

Pour connaître l'influence de la température de l'air inhalé sur la sensation, nous avons simulé une situation où nous faisons varier la température de l'air au niveau de la tête au cours de la simulation. On représente sur un même graphe (Cf. Graph 2.3-b) l'évolution de la sensation ainsi que de la température de l'air au niveau de la tête.

On remarque que pour que la sensation globale soit au moins égale à 4 (confort froid), il faut que la température de l'air inhalé soit supérieure à 17°C. Pour atteindre la note 5 (situation de confort ni chaud ni froid), elle doit être supérieure à 21°C. C'est la même chose pour les sensations locales des 7 segments du conducteur.

Il apparaît donc que la température de l'air inhalé conditionne fortement le confort et qu'il est indispensable que le conducteur respire un air réchauffé.



Graph 2.3-b : Evolution de la sensation globale avec la température d'air au niveau de la tête (température de l'air inhalé)

CONCLUSIONS

Nous avons orienté nos recherches vers un chauffage radiatif. Malheureusement, même si le chauffage des surfaces réduit grandement les pertes radiatives du conducteur, et de ce fait, la baisse des températures de peau, cela ne suffit pas à donner toutes les conditions nécessaire au confort. Il est primordial que le conducteur respire un air réchauffé. Il faut donc prévoir d'emmener de l'air chaud (entre 17 et 23 °C) aux alentours de la tête.

On a aussi remarqué l'influence de surfaces chauffées (appui-tête et pavillon) sur la tête. Le fait de chauffer plus spécifiquement celle-ci peut influencer voire leurrer le système qui gère la régulation (l'hypothalamus).

On a aussi vu l'intérêt d'un volant chauffant. Celui-ci va effectivement permettre d'améliorer la sensation locale sur les mains à l'entrée dans le véhicule mais ne va en aucun cas (en restant à 30°C) constituer un système de chauffage actif. Pour cela il devra avoir une température supérieure à la température de peau des mains. Un volant à 35 °C (ce qui reste une température de contact raisonnable) permettrait d'apporter un flux conductif positif au conducteur et donc contribuer à le chauffer.

Pour la suite de l'étude, il faudra connaître la durée de la montée en température ainsi que les températures possibles des systèmes installés dans la 106 pour pouvoir étudier plus précisément les réactions du conducteur.

Chauffage d'une voiture électrique

Rapport d'avancement n°5

Janvier 1998

CONFIDENTIEL

Laboratoire Etudes des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

Cédric MILVAQUE, Françoise MONCHOUX



SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
1. INSTRUMENTATION DE LA VOITURE.....	3
1.1. Les éléments chauffants	3
1.2. Nom et emplacement des capteurs	6
2. TESTS EN CHAMBRE CLIMATIQUE	9
2.1. Conditions expérimentales.....	9
2.1.1. Essai n°1.....	10
2.1.2. Essai n°2.....	10
2.1.3. Essai n°3.....	10
2.1.4. Essai n°4.....	11
2.2. Résultats	11
2.2.1. Essai n°1.....	11
2.2.2. Températures des surfaces non chauffées	11
2.2.3. Températures des surfaces chauffantes.....	14
2.2.4. Températures d'air.....	18
2.2.5. Température du volant	20
2.3. Température de l'air inhalé	21
CONCLUSIONS	22

INTRODUCTION

Nous avons décidé de tester les solutions trouvées en matière de chauffage d'une voiture électrique. Pour cela nous avons équipé une 106 électrique d'éléments chauffants ainsi que de différents capteurs permettant de connaître l'état thermique du véhicule pendant les essais. Ces expériences se dérouleront comme l'année dernière avec la collaboration du LAA. Le LESETH prend en charge l'instrumentation de la voiture (choix du type de capteurs, emplacement, etc.).

1. INSTRUMENTATION DE LA VOITURE

Nous présentons dans ce chapitre les différents éléments chauffants installés dans le véhicule test (mulet) ainsi que son instrumentation. Nous utilisons la même voiture que pour les expériences menées l'hiver dernier, à savoir une 106 électrique. Le mulet a été entièrement équipé à Vélizy. Nous avons passé 5 jours sur le site pour suivre la fin de l'installation des éléments chauffants et surtout pour positionner les différents capteurs (ceci incluant aussi la mise en place et les tests de l'acquisition).

1.1. Les éléments chauffants

La voiture a été équipée conformément aux indications données par le LESETH et en accord avec les différents partenaires de ce contrat.

L'équipement de la voiture est le suivant (Cf. Figure 2.1.1-1) :

- Pare-brise chauffant de type EKO ;
- Vitrages latéraux de type EKO (à faible émissivité) ;
- Volant chauffant ;
- Sièges conducteur et passager chauffants (assise + dossier) ;
- Appui-tête conducteur chauffant ;
- Tapis avant chauffants (conducteur et passager)
- Garniture sous la colonne de direction chauffante ;
- Garniture du pavillon chauffante (partie avant et arrière).

Remarque :

- Les vitrages de type EKO proviennent d'une étude précédente menée à la DRAS avec St-Gobain.

- Le volant chauffant est un volant qui équipe un autre type de véhicule du groupe.

- Tous les autres éléments sont chauffés à l'aide de réseaux chauffants régulés provenant de la firme SDANDMEC (Suède). Cette société a aussi fabriqué le tableau de commande (Cf. Figure 2.1.1-2).

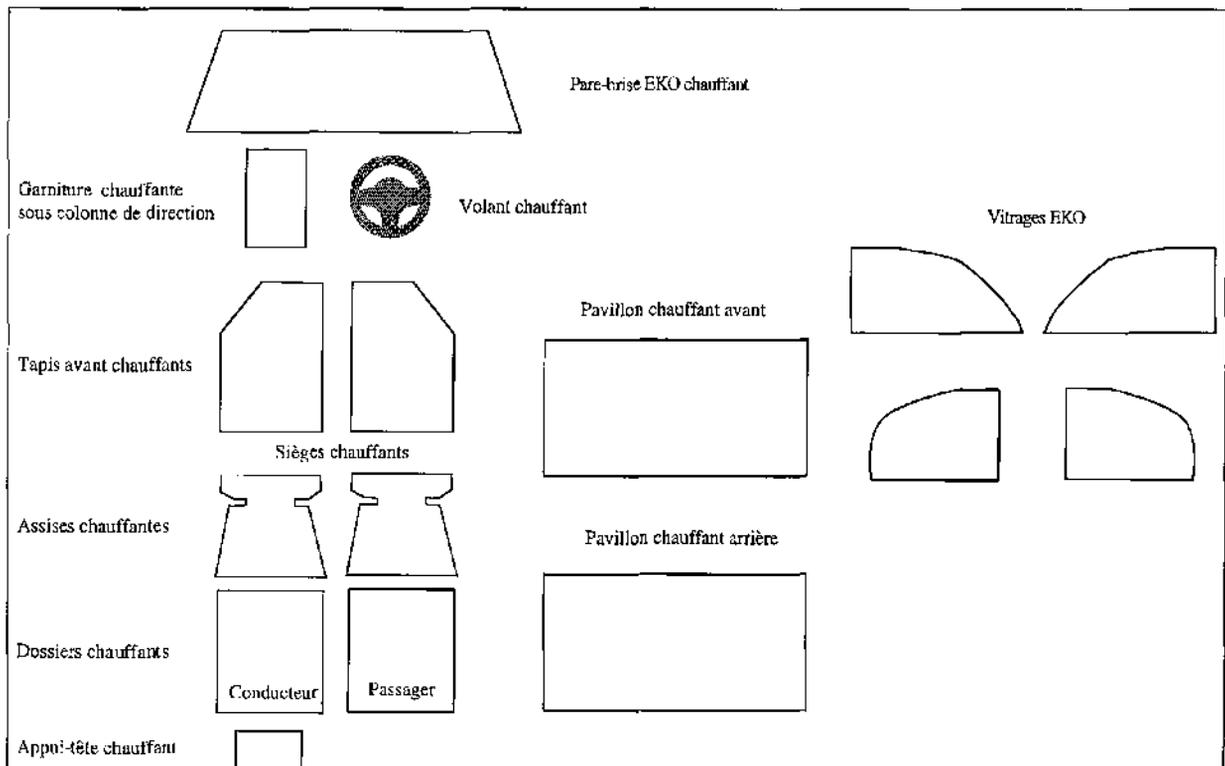


Figure 2.1.1-1 : Eléments chauffants

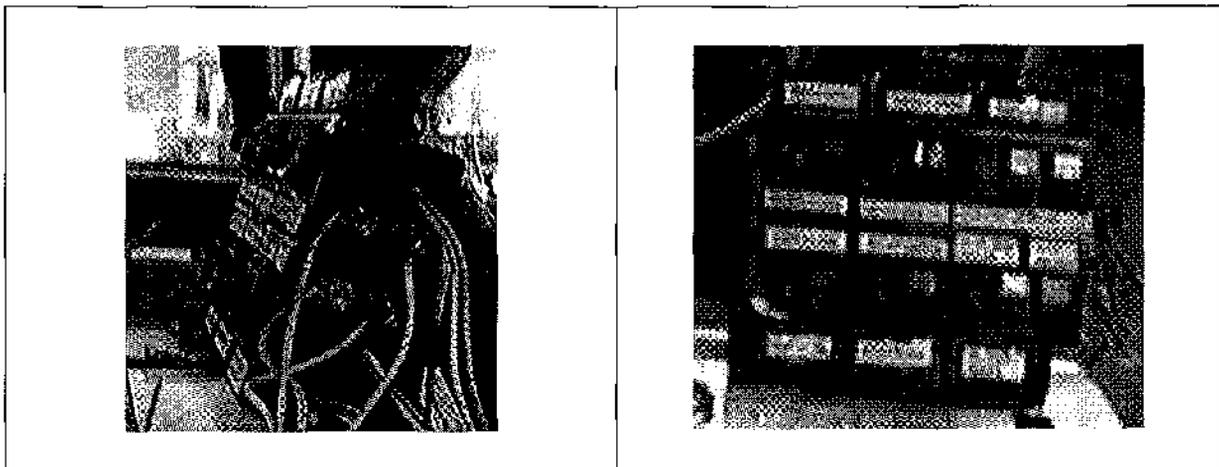


Figure 2.1.1-2 : Tableau de commande des éléments chauffants (STANDMEC)

Les éléments chauffants ne sont pas actionnés par le conducteur mais par la personne chargée des essais qui est assise à l'arrière du véhicule. Seul le volant dispose d'un interrupteur permettant sa mise en route par le conducteur ainsi que d'un voyant de marche-arrêt (le voyant et l'interrupteur sont situés sur le volant). Le pare-brise est commandé via un relais par un interrupteur placé à l'arrière. Les autres éléments sont commandés à l'aide d'un boîtier de commande situé derrière le siège passager (Cf. Figure 2.1.1-3). Ce boîtier permet de commander les 8 réseaux chauffants :

- Le garnissage sous la colonne de direction (Front panel) ;
- Le tapis conducteur (Left floor + front panel) ;
- Le tapis passager (Right floor + front panel) ;
- Le partie avant du pavillon (Front ceiling) ;
- La partie arrière du pavillon (Rear ceiling) ;
- L'appui-tête du conducteur (Driver head rest) ;
- Le siège conducteur (Left seat) ;
- Le siège passager (Rigth seat).

On peut remarquer que l'assise et le dossier des sièges chauffants sont commandés en même temps (un seul bouton marche-arrêt pour chaque siège). Pour les autres éléments, en plus de l'interrupteur marche-arrêt, on dispose d'un potentiomètre permettant de choisir la puissance électrique (0 à 100%).



Figure 2.1.1-3 : Commandes arrières

On a aussi prévu un système permettant d'amener de l'air à température moyenne (entre 16 et 20°C) à proximité de la tête. Cet air, qui correspond à la température d'air inhalé, ne doit pas être trop froid sous peine de réduire fortement les sensations de confort (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°4). De plus, pour éviter de gêner le conducteur, l'air doit arriver avec une vitesse très faible (environ 0.05 m/s).

Après avoir envisagé un système "sèche cheveux" (ventilateur brassant de l'air à travers une résistance chauffante) nous avons adapté le système de chauffage existant. Nous

avons obturé toutes les bouches d'aération de la voiture et placé un tuyau flexible isolé à la sortie de la soufflerie. Tout l'air chauffé et pulsé par le chauffage passe par ce tuyau pour être amené à proximité de la tête du conducteur. Nous avons placé un dispositif de régulation et d'orientation du débit d'air à la sortie du tuyau (un diffuseur de 406). On fixera la vitesse ainsi que la température d'air avec les commandes de chauffage classique pour chaque expérience. Toute manipulation par le conducteur sera interdite.

1.2. Nom et emplacement des capteurs

Pour analyser et pour simuler les expériences avec le nouveau mode de chauffage, nous avons besoin de connaître certaines variables. Nous avons donc instrumenté la voiture afin d'en connaître un maximum sans toutefois trop perturber la conduite. Nous avons utilisé le matériel déjà en place dans la voiture (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°2) lors des essais précédents. Nous avons rajouté des capteurs et aussi modifié l'emplacement d'autres afin de s'adapter à la nouvelle série d'expériences.

La centrale d'acquisition embarquée a été modifiée afin de permettre un nombre de capteurs plus important. Nous avons ajouté une carte tension et une carte thermocouple ce qui double sa capacité. Nous avons ajouté des thermocouples et aussi un capteur de température infrarouge pour mesurer la température du volant. Le Tableau 1.2-1 présente l'ensemble des mesures effectuées. Les capteurs donnant les variables nécessaires aux simulations sont les suivants :

- ◆ 3 sondes pour la mesure des vitesses d'air :
 - 2'-VairT → sonde placée à 15 cm (derrière à droite) de la tête du conducteur ;
 - 3'-VairM → sonde placée devant les mains du conducteur ;
 - 4'-VairP → sonde placée à côté des pieds (à droite des pédales).

- ◆ 1 capteur d'humidité relative :
 - 5'-Hr → placé sur le support central au milieu du pavillon côté conducteur.

- ◆ 1 capteur de flux solaire :
 - 6'-FluxS → placé au milieu la planche de bord proche du pare-brise.

- ◆ 8 thermocouples de type K pour les températures d'air :
 - 2-TairTr → température au niveau du tronc, placé sur la ceinture de sécurité ;
 - 3-TairM → température au niveau des mains, placé sur la sonde 3'-VairM ;
 - 4-TairP → température au niveau des pieds, placé sur la sonde 4'-VairP ;
 - 20-TExt → température extérieure, placé proche du rétroviseur extérieur gauche ;
 - 23-TairS → température de l'air soufflé, placé dans le tuyau proche du diffuseur ;
 - 24-TairT → température au niveau de la tête, placé sur la sonde 2'-VairT ;
 - 26-TairJ → température au niveau des jambes proche des genoux, placé sous la colonne de direction ;
 - 27-TairA → température au niveau du passager arrière droit, fixé sur le support central.

- ◆ 1 capteur de température infrarouge :

- 7'-Tv>19 → température de surface du volant chauffant, placé devant le volant à environ 5 cm de celui-ci (Cf. Figure 2.1.1-4)

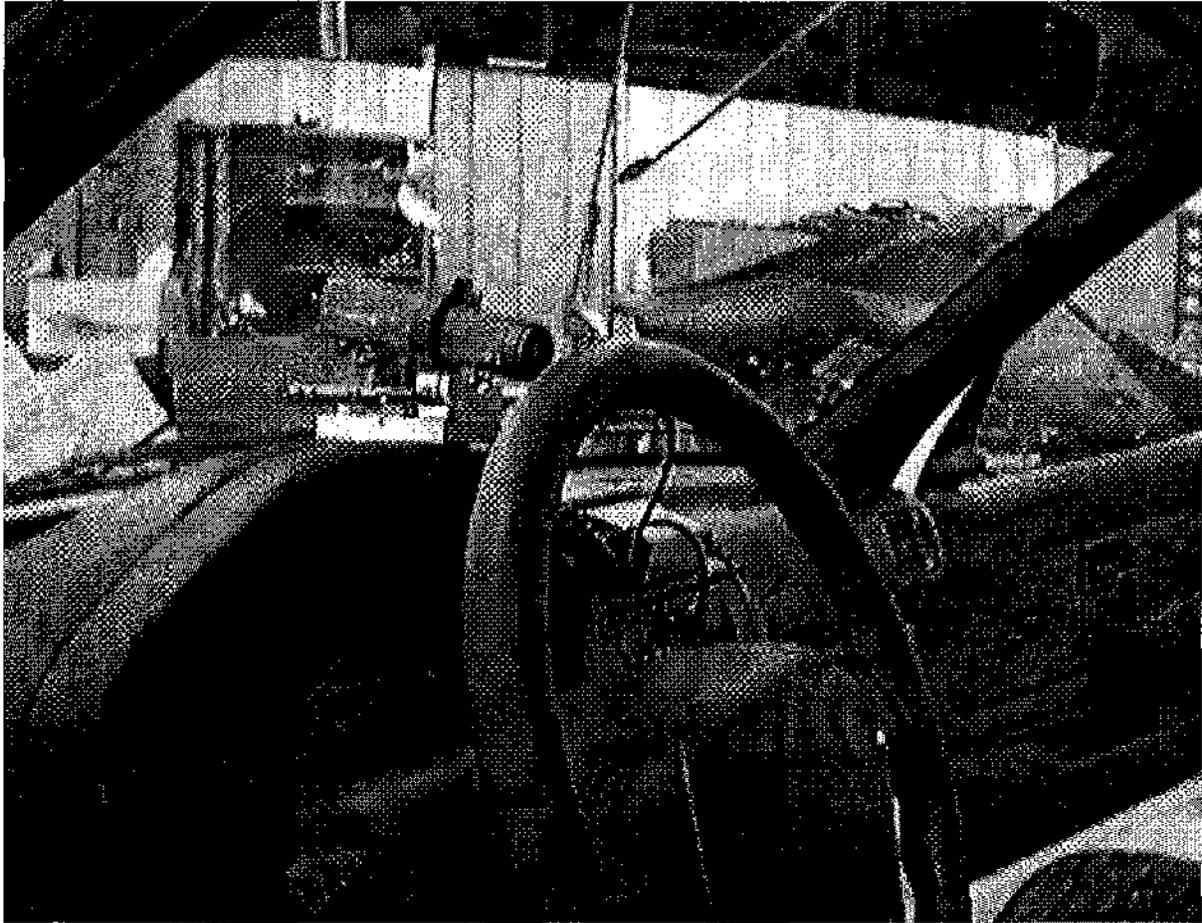


Figure 2.1.1-4 : Capteur infrarouge

- ◆ 16 thermocouples de type K pour les températures de surface :

L'emplacement des thermocouples est schématisé sur la Figure 2.1.1-5.

Remarque : L'écran radiatif qui protégeait les thermocouples mesurant les températures d'air (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°2) a été supprimé. En effet, une étude menée au sein de notre laboratoire montre que cette protection engendre plus d'erreurs qu'elle n'en enlève.

Carte	Nom du capteur	Unité	Remarque
Carte tension [1]	1'-OnOff	mV	Non utilisée
	2'-VairT	mV	Vitesse d'air au niveau de la tête
	3'-VairM	mV	Vitesse d'air au niveau des mains
	4'-VairP	mV	Vitesse d'air au niveau des pieds
	5'-Hr	mV	Humidité relative dans l'habitacle
	6'-FluxS	mV	
	7'-Tv>19	mV	Température du volant(1mv → 1°C) :Offset de 5 mV permanent
	8'-None	mV	
Carte tension [2]	9'-None	mV	
	10'-None	mV	
	11'-None	mV	
	12'-None	mV	
	13'-None	mV	
	14'-None	mV	
	15'-None	mV	
	16'-None	mV	
Carte thermocouple [1]	CJC01		
	1-Fault	°C	Non utilisée : problème de calibrage
	2-TairTr	°C	Température d'air proche du tronc
	3-TairM	°C	Température d'air proche des mains
	4-TairP	°C	Température d'air proche des pieds
	5-TdB	°C	Température du tableau de bord
	6-PlanNC	°C	Température du plancher (partie non chauffée)
	7-PlaArr	°C	Température de la plage arrière
	8-PavNC	°C	Température du pavillon (partie non chauffée)
	9-MonAvG	°C	Température du montant avant gauche
	10-SieCd	°C	Température du siège conducteur (au niveau de l'assise)
	11-ViAvG	°C	Température de la vitre avant gauche
	12-PareB	°C	Température du pare-brise
	13-AppT	°C	Température de l'appui-tête
14-GsTdB	°C	Température de la garniture sous la colonne de direction	
Carte thermocouple [2]	CJC02		
	15-Fault	°C	Non utilisée : problème de calibrage
	16-SieP	°C	Température du siège passager (au niveau de l'assise)
	17-Porte	°C	Température de la portière gauche (garnissage)
	18-PavAr	°C	Température du pavillon chauffant (partie arrière)
	19-None	°C	
	20-TExt	°C	Température de l'air extérieur (sur le rétroviseur gauche)
	21-TCAvD	°C	Température du tapis chauffant passager
	22-PavAv	°C	Température du pavillon chauffant (partie avant)
	23-TairS	°C	Température de l'air en sortie du tuyau
	24-TairT	°C	Température d'air proche de la tête (température habitacle)
	25-TCAvG	°C	Température du tapis chauffant conducteur
	26-TairJ	°C	Température d'air proche des jambes
	27-TairA	°C	Température d'air à l'arrière de l'habitacle
28-None	°C		

Tableau 1.2-1 : Nom des capteurs et implantation dans la centrale d'acquisition

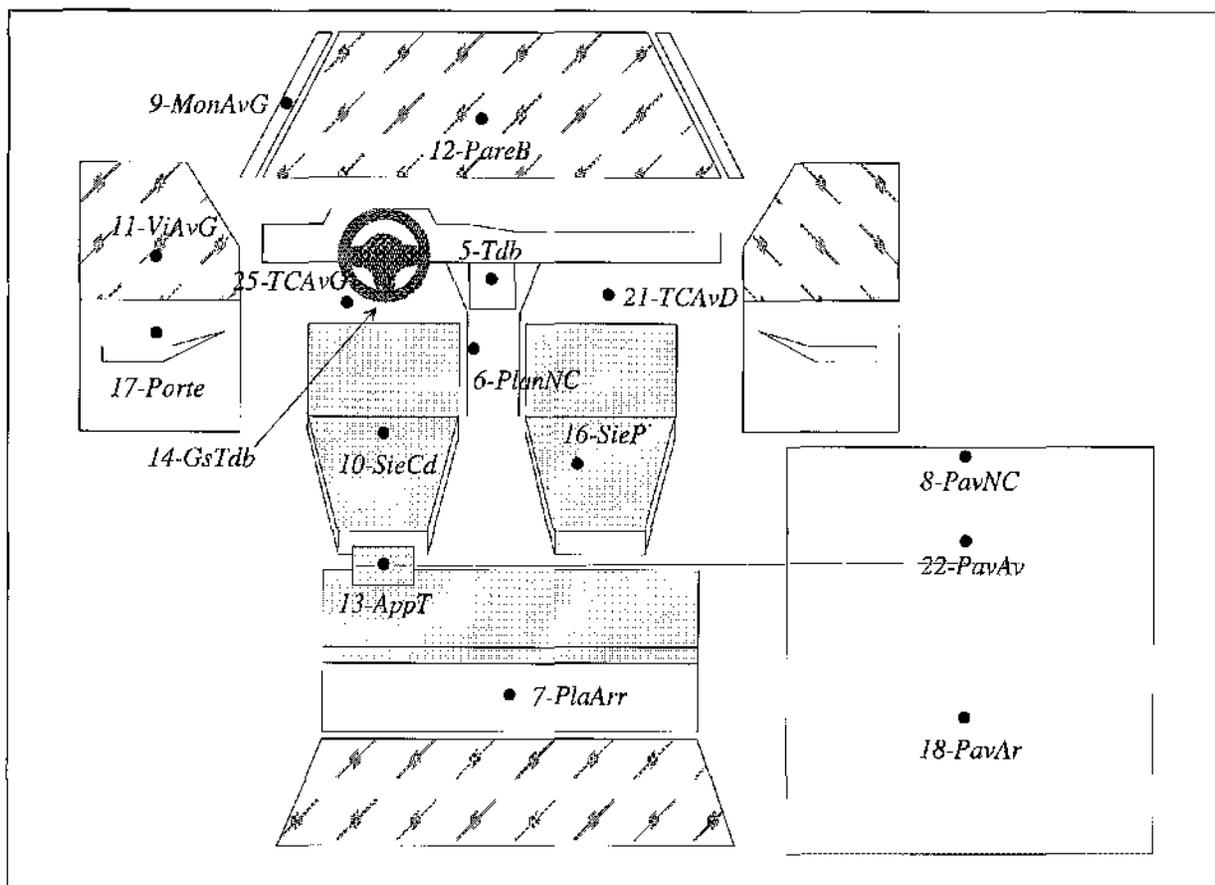


Figure 2.1.1-5 : Emplacement des thermocouples pour la mesure des températures de surface

2. TESTS EN CHAMBRE CLIMATIQUE

Nous avons équipé le mulet à partir de discussions basées sur les simulations (MATHER) ainsi que sur les expériences in-situ de l'hiver 1997. Pour l'analyse des essais à venir, nous avons besoin de connaître l'influence thermique des différents éléments chauffants sur l'habitacle ainsi que leurs caractéristiques réelles dans la voiture (temps de montée et température atteinte). Nous avons donc réalisé une série d'essais en chambre climatique. Cela nous a aussi permis de tester le bon fonctionnement du matériel embarqué.

2.1. Conditions expérimentales

Nous avons disposé d'une chambre climatique une journée sur le site de Vélizy. Nous avons "chambré" la voiture à 0°C afin de tester le matériel en condition assez froide. Nous avons réalisé 4 essais dans la journée : 2 le matin sans personne à la place du conducteur et 2 l'après-midi avec une personne à la place du conducteur. Pour tous les essais, la chambre climatique est réglée à la température de 0°C. Il y a toujours une personne à bord du véhicule pour s'occuper de l'acquisition (via un PC portable relié à la centrale d'acquisition) qui est placée à l'arrière de la voiture derrière le siège passager. Les potentiomètres des éléments chauffants sont à 100% (puissance maximum). Le temps d'acquisition est le même pour tous les essais : 4/minute.

2.1.1. Essai n°1

Cet essai a pour but de tester et régler les problèmes liés à l'acquisition des données et aussi d'évaluer les temps de montée en température des éléments chauffants. Il n'y a personne à la place du conducteur.

Les systèmes de chauffage en marche dès le début de l'acquisition sont :

- Pare-brise
- Volant
- Tapis conducteur
- Pavillon avant
- Appui-tête
- Siège conducteur

On place le thermocouple 2-TairTr (inutilisé ici) à l'emplacement théorique de la tête du conducteur. Il nous donnera une indication supplémentaire sur l'évolution de la température d'air à l'intérieur de l'habitacle.

Durée de l'essai : 30 minutes

2.1.2. Essai n°2

Cet essai est semblable à l'essai n°1. Il sert à évaluer l'influence des éléments chauffants sur les conditions thermiques dans l'habitacle sans conducteur (exemple : le préchauffage). On regardera plus précisément l'évolution des températures d'air.

Durée de l'essai : 45 minutes

2.1.3. Essai n°3

Il a pour but de connaître l'évolution des conditions thermiques à l'intérieur du véhicule avec un conducteur. Il permettra aussi d'établir la relation entre la température de l'air inhalé (non mesurée in-situ) et la température de l'habitacle (24-TairT). Il y a un essayeur à la place du conducteur.

On placera un thermocouple supplémentaire collé sur le front de l'essayeur (à 15 mm de la peau) qui donnera la température de l'air inhalé (19-Tinh).

Les systèmes de chauffage en marche dès le début de l'acquisition sont :

- Pare-brise
- Volant
- Tapis conducteur
- Pavillon avant
- Appui-tête
- Siège conducteur

Durée de l'essai : 30 minutes

Remarque : Le thermocouple 2-TairTr a été fixé sur la ceinture de sécurité 10 minutes après le début de l'expérience.

2.1.4. Essai n°4

Cet essai est presque identique à l'essai n°3. On utilisera tous les éléments chauffants (sauf l'air soufflé).

Les systèmes de chauffage en marche dès le début de l'acquisition sont donc :

- Pare-brise
- Volant
- Tapis conducteur
- Tapis passager
- Pavillon avant
- Pavillon arrière
- Appui-tête
- Garniture sous la colonne de direction
- Siège conducteur
- Siège passager

Remarque : Le tapis chauffant conducteur a été mis en chauffe 7 minutes après le début de l'expérience.

2.2. Résultats

Ces 4 essais nous ont permis de modifier (optimiser) la position de certains capteurs.

2.2.1. Essai n°1

Ce premier essai nous a permis de déceler certains problèmes liés à l'acquisition et à l'emplacement des capteurs.

Il apparaît un offset permanent de 5 mV sur la voie 7'-T'v>19 qui est celle du capteur infrarouge de température. Il faudra en tenir compte pour le dépouillement des résultats. De plus, ce capteur s'éteint automatiquement au bout de 20 minutes d'utilisation. Pour enlever l'arrêt automatique, il faut allumer le boîtier d'alimentation et de commande du capteur en pressant simultanément la touche **On** et la touche **Clear**. Le capteur reste ainsi toujours en marche.

Le thermocouple 16-SicP est placé sur le siège passager mais sans être sur les réseaux chauffants. Nous avons modifié sa position pour pouvoir mesurer la température atteinte par le siège avec les réseaux chauffants. La position a été rectifiée après les 4 essais présentés ici.

Nous avons rencontré un problème au niveau logiciel pour l'acquisition. Une voie d'enregistrement avait été oubliée, ce qui a engendré un décalage sur les voies de mesure. Nous avons modifié le fichier de configuration. L'acquisition est correcte pour les essais 2, 3 et 4. Nous n'utiliserons donc pas les résultats de l'essai 1.

2.2.2. Températures des surfaces non chauffées

Nous présentons sur les Figure 2.2.2-1 à 3 l'évolution des températures de surfaces des parties non équipées de réseaux chauffants pour les essais 2, 3 et 4.

Remarque : Par faciliter les comparaisons, on ne présente que les 30 premières minutes de l'essai 2 (il dure en fait 45 minutes).

On remarque que les températures des surfaces non chauffées augmentent sensiblement tout au long des expériences. Cette augmentation est essentiellement due aux transferts radiatifs à l'intérieur de l'habitable. Les éléments non chauffants vont évoluer proportionnellement aux montées en températures des éléments chauffants (Cf. page 14). On verra dans les paragraphes suivants que la température de l'air à l'intérieur de l'habitable augmente aussi (Cf. Page 18) et que cela entraîne des échanges convectifs plus important.

Il y a aussi une augmentation des températures entre les 3 essais. En effet elles sont plus froides dans l'essai 2 que dans l'essai 3. C'est la même chose entre le 3 et le 4. Ceci semble tout à fait normal étant donné que dans l'essai 2 il n'y a pas de conducteur et qu'il y a seulement une partie des éléments chauffants en marche. Les échanges radiatifs sont donc plus faibles que dans l'essai 3 où il y a un conducteur qui participe à ces échanges (la présence du conducteur à tendance à chauffer les surfaces). Dans l'essai 4, les échanges radiatifs sont encore augmentés du fait de la mise en fonctionnement de tous les éléments chauffants.

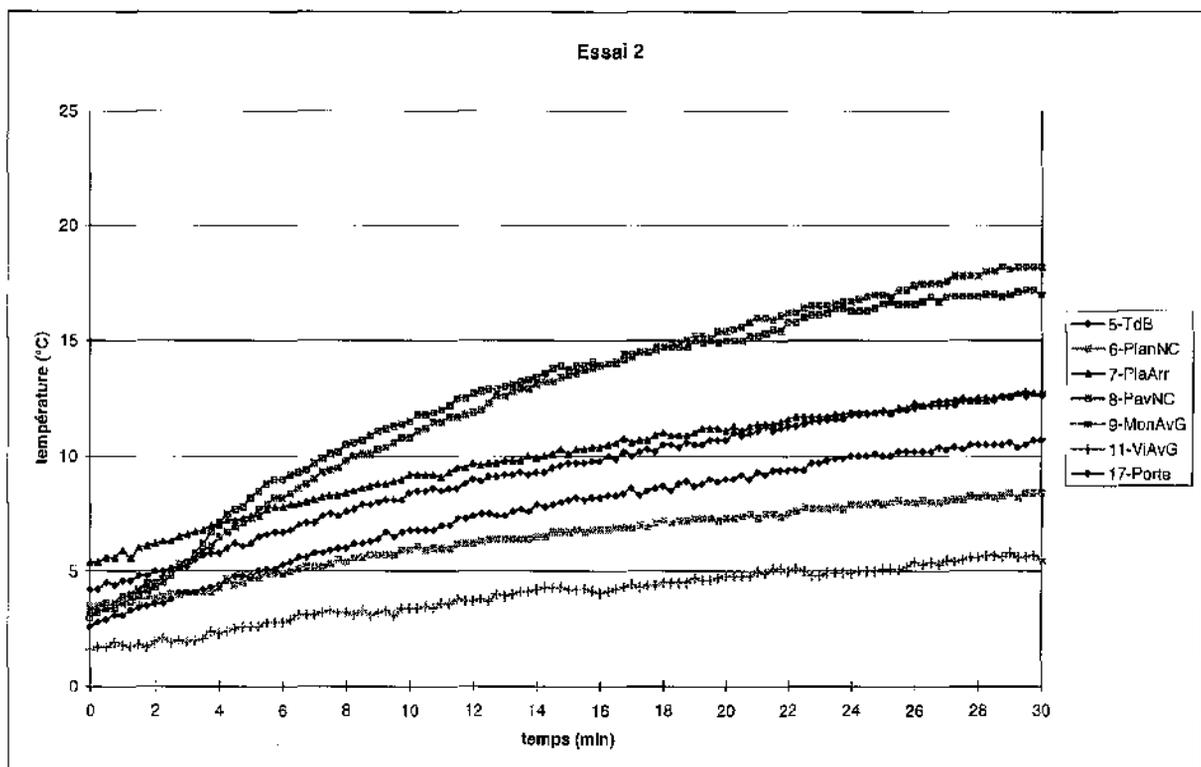


Figure 2.2.2-1 : Evolution des températures de surfaces non chauffées (essai n°2)

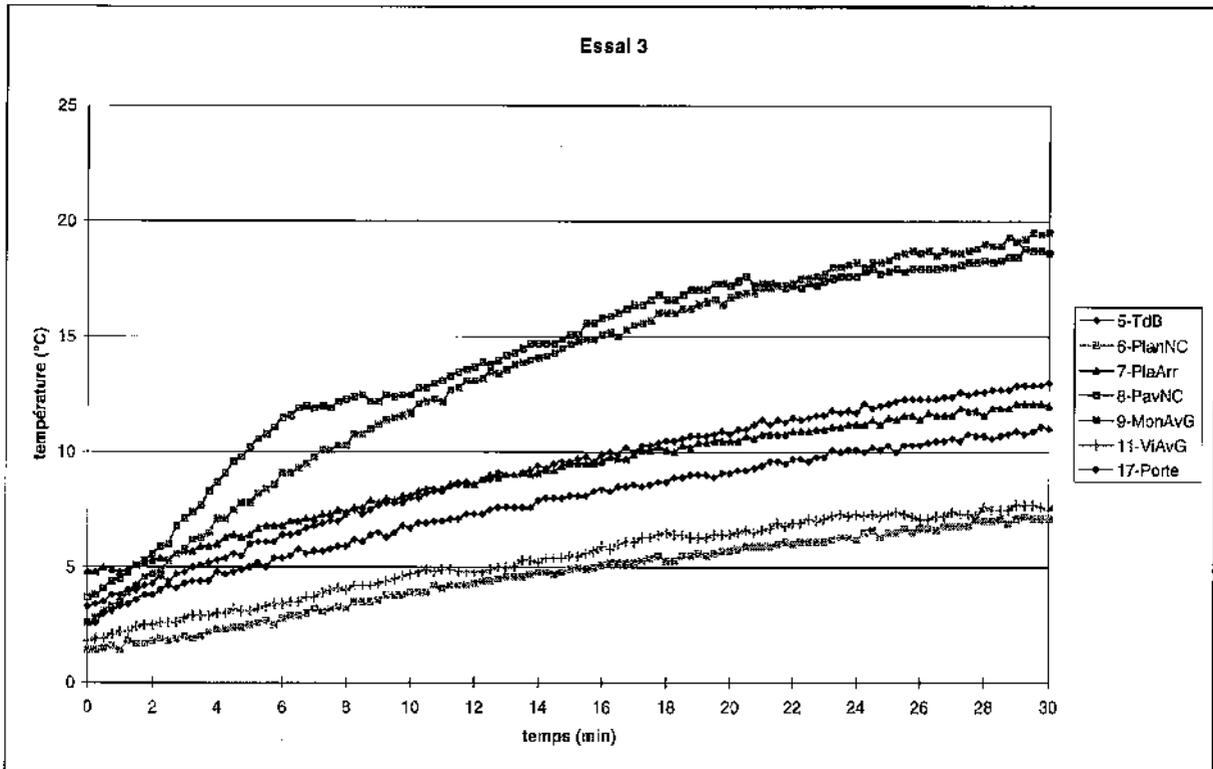


Figure 2.2.2-2 : Evolution des températures de surfaces non chauffées (essai n°3)

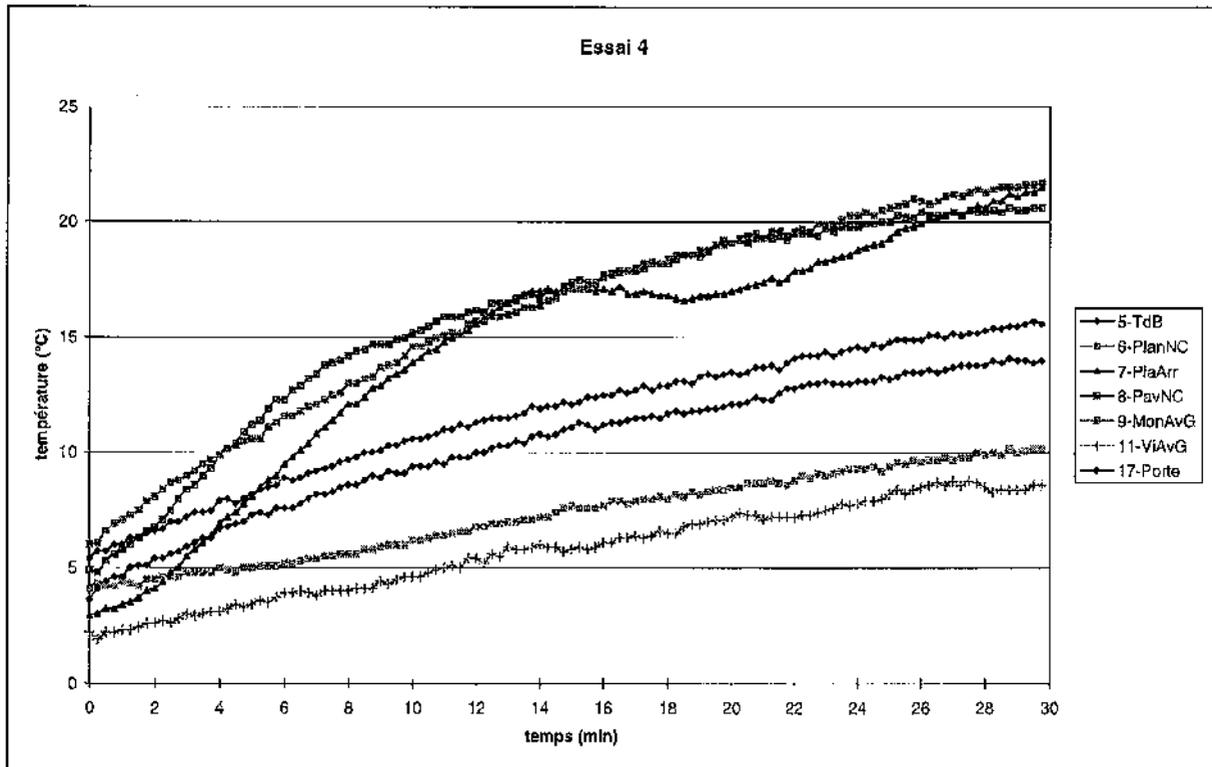


Figure 2.2.2-3 : Evolution des températures de surfaces non chauffées (essai n°4)

2.2.3. Températures des surfaces chauffantes

On présente ci-dessous l'évolution des températures des différentes surfaces chauffantes. Ces courbes nous permettent surtout de connaître les temps de montée en température de chaque élément. On regardera les températures maximales atteintes par ces éléments.

Remarque : Les capteurs 14, 16, 18 et 21 correspondent à des éléments qui, dans certains essais, n'ont pas été mis en fonctionnement. Il s'ensuit que l'allure des courbes est radicalement différente.

Siège conducteur (10-SieCd) :

- Essai 2 → On observe bien la température de coupure de la régulation (environ 30°C) ;
- Essais 3 et 4 → Le siège monte rapidement à environ 30°C et reste à cette température.

Pare-brise (12-PareB) :

- Il est à 20°C en 4 minutes, à 40°C en 12 minutes et atteint 50°C au bout de 20 minutes. Toutes ces températures sont beaucoup plus élevées que celles utilisées pour les simulations (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°4) qui étaient fournies par PSA.
- On remarque que plus il y a d'éléments chauffants en fonctionnement et moins la température maximum atteinte par le pare-brise est élevée (la puissance disponible pour le pare-brise étant sûrement diminuée).

Appui-tête (13-AppT) :

- On remarque surtout que la température mesurée sur l'appui-tête est beaucoup plus basse pour l'essai 2 (environ 34°C) que pour les essais 3 et 4 (environ 45°C). Cela peut s'expliquer par le fait que pour ces derniers, il y a un conducteur en place et que sa tête est souvent posée sur l'appui-tête. En pratique, en conditions de conduite normales, le conducteur n'a pratiquement jamais la tête posée sur l'appui-tête.

Garniture sous colonne de direction (14-GsTdb) :

- Le réseau chauffant est en fonctionnement uniquement durant l'essai 4. On peut remarquer qu'il atteint une température assez élevée (55°C) au bout de 7 minutes. On peut remarquer les oscillations dues à la régulation.

Siège passager (16-SieP) :

- Le siège passager est lui aussi en fonctionnement uniquement durant l'essai 4. On voit bien que la température mesurée par le thermocouple est anormalement basse alors qu'elle devrait atteindre 30°C comme le siège conducteur à vide (Essai 2).

Comme indiqué précédemment la position du thermocouple n'est pas bonne. Nous l'avons changé pour les essais in-situ.

Pavillon arrière (18-PavAr) :

- Le pavillon est en fonctionnement uniquement durant l'essai 4. Il atteint sa température maximum (35°C) au bout 10 minutes. On remarque que la température atteinte est assez éloignée de la température théorique du réseau chauffant (45°C). En effet celui-ci se trouve sous la garniture du pavillon alors que le thermocouple est placé dessus. Le matériau de la garniture étant assez isolant et le contact entre les deux surfaces n'étant pas parfait, la différence de température s'explique aisément.

Tapis côté passager (21-TCAvD) :

- Ce tapis est uniquement en fonctionnement durant l'essai 4. Il atteint la température de 30°C au bout 10 minutes. Il y a le même problème que pour le pavillon arrière, à savoir une différence entre la température supposée du réseau chauffant et la température de surface effectivement mesurée. On aussi peut donner la même explication.

Pavillon avant (22-PavAv) :

- Il atteint la température de 30°C au bout de 8 à 10 minutes pour ensuite varier entre 30 et 33°C. Même remarque que pour le pavillon arrière.

Tapis côté conducteur (25-TCAvG) :

- Il atteint la température de 30°C au bout de 8 minutes pour ensuite osciller aux alentours de 33°C. Même remarque que pour le tapis côté passager.

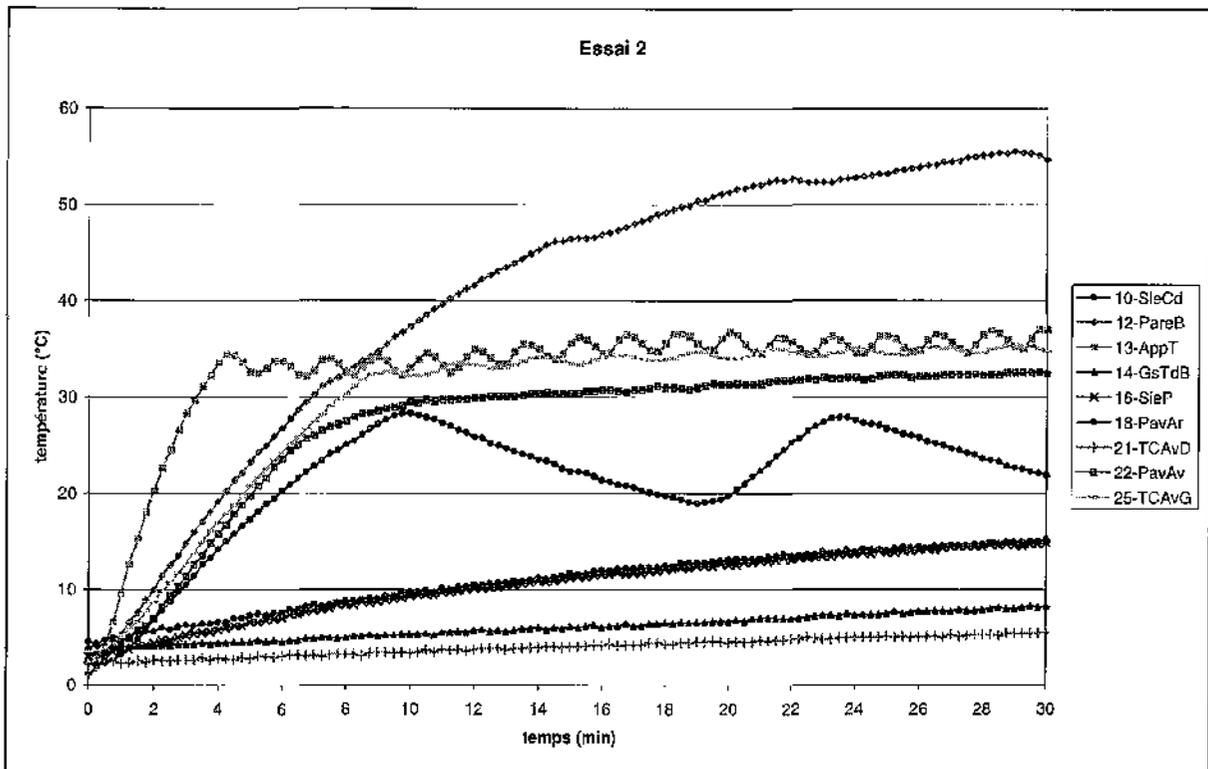


Figure 2.2.3-1 : Evolution des températures de surfaces chauffées (essai n°2)

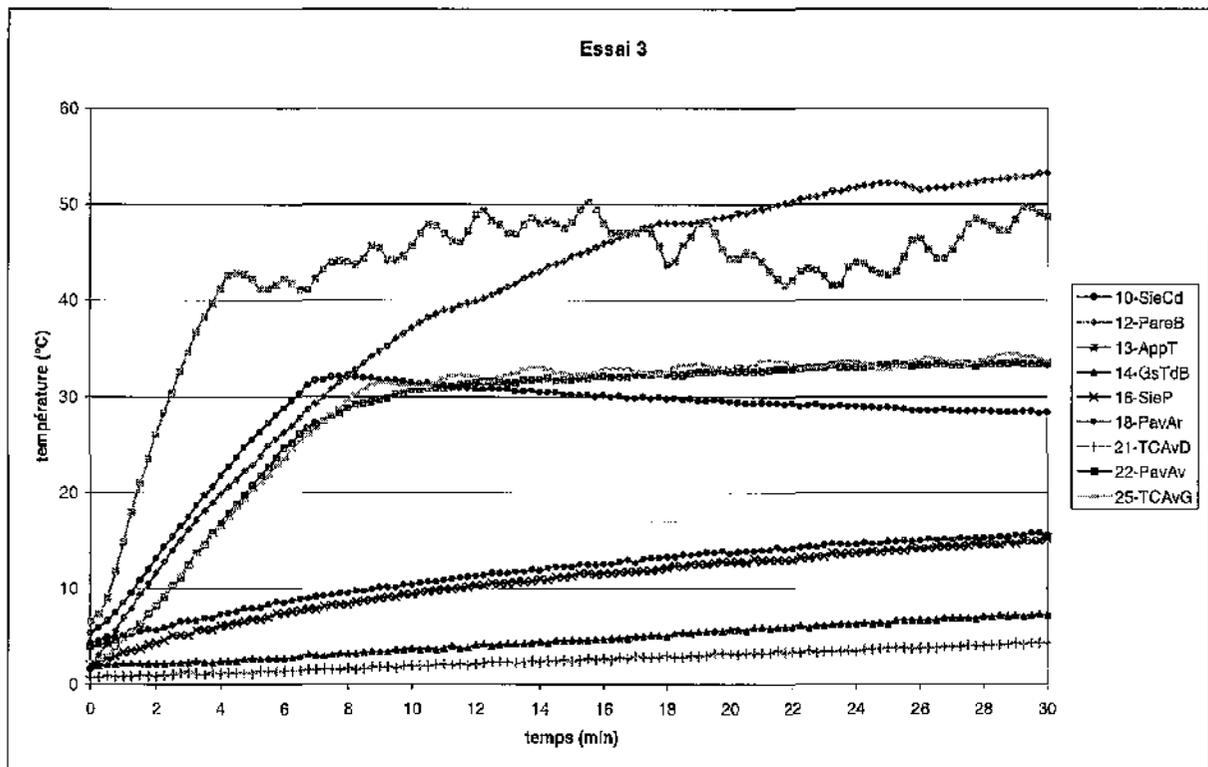


Figure 2.2.3-2 : Evolution des températures de surfaces chauffées (essai n°3)

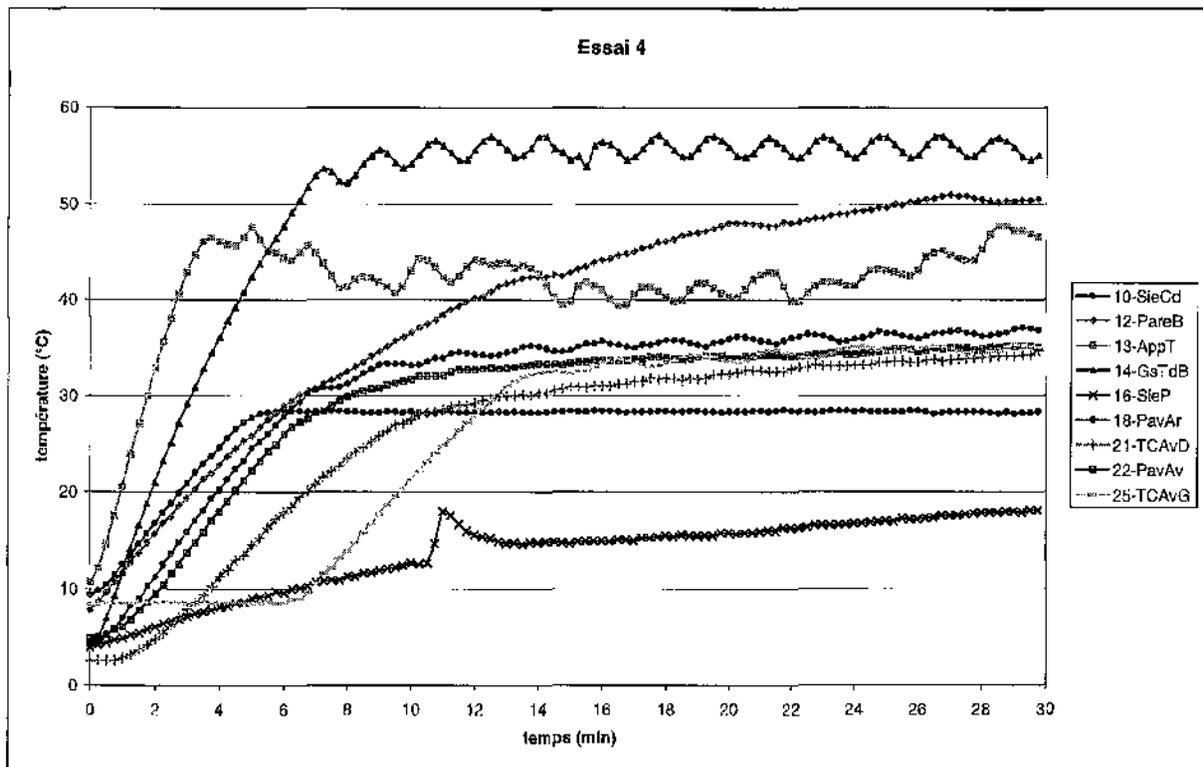


Figure 2.2.3-3 : Evolution des températures de surfaces chauffées (essai n°4)

On présente ci-dessous (Cf. Tableau 2.2-1) un récapitulatif des températures moyennes atteintes par les différents éléments chauffés. On indique aussi le temps de montée moyen qui correspond au temps mis par chaque élément pour passer de 6°C à sa température moyenne de fonctionnement.

Élément	Capteur	Temps de montée moyen	Température moyenne
Siège conducteur	10-SieCd	6 minutes	32°C (avec conducteur)
Pare-brise	12-PareB	20 minutes	50°C
Appui-tête	13-AppT	5 minutes	35°C
Garniture sous colonne	14-GsTdB	7 minutes	55°C
Siège passager	16-SieP	10 minutes	28°C (sans conducteur)
Pavillon arrière	18-PavAr	10 minutes	33°C
Tapis passager	21-TCAvD	10 minutes	30°C
Pavillon avant	22-PavAv	10 minutes	33°C
Tapis conducteur	25-TCAvG	8 minutes	33°C

Tableau 2.2-1 : Températures atteintes par les éléments chauffés

On peut remarquer que, mis à part le pare-brise, les températures atteintes par les éléments chauffés sont inférieures à celles utilisées pour les simulations (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°4). Ceci s'explique par le fait que nous avons utilisé la température des réseaux chauffants alors que sur le mulot, tous les réseaux sont recouverts par l'habillage interne de l'habitacle (tissu, moquette, etc.).

2.2.4. Températures d'air

La première observation concerne l'évolution des températures d'air à l'intérieur de l'habitacle sans conducteur (essai 2). Les températures d'air ont presque toutes la même tendance, elles partent de 3°C pour atteindre 15°C au bout de 30 minutes. On remarque donc que même sans souffler d'air chaud, on réchauffe un peu l'atmosphère de l'habitacle. On remarque aussi que la température d'air au niveau des pieds, contrairement aux autres, reste toujours très froide. Elle démarre à 1°C et ne dépasse jamais 9°C même au bout de 30 minutes. Cela risque de poser un problème pour le confort au niveau des pieds.

Pour les essais avec un conducteur (essais 3 et 4), les températures évoluent toujours de la même façon. Elles sont seulement un peu plus élevées en raison de la présence du conducteur. On voit aussi que dans l'essai 4 où il y a tous les éléments chauffants en marche, les températures sont encore plus élevées. La température au niveau des pieds reste toujours très basse par rapport aux autres.

On peut aussi remarquer que la température de l'air inhalé (19-Tinh) est supérieure à la température de l'habitacle (24-TairT). On étudiera ce phénomène dans le paragraphe 2.3.

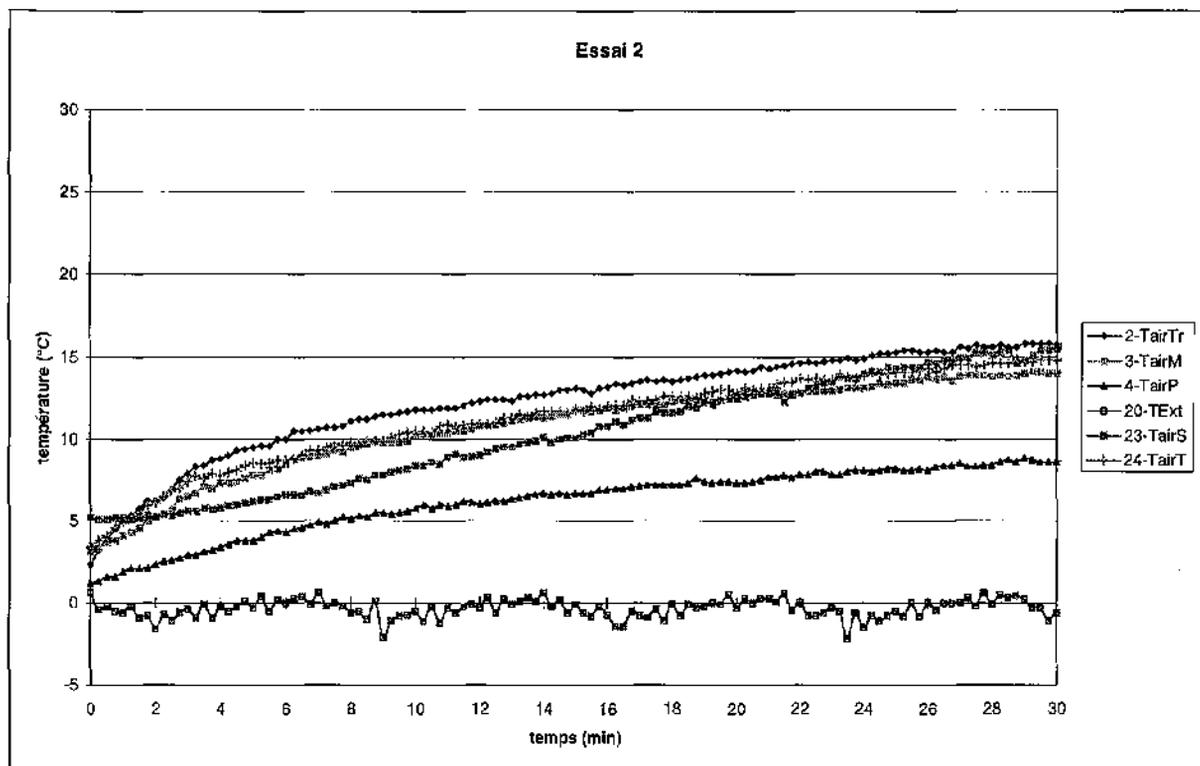


Figure 2.2.4-1 : Evolution des températures d'air (essai n°2)

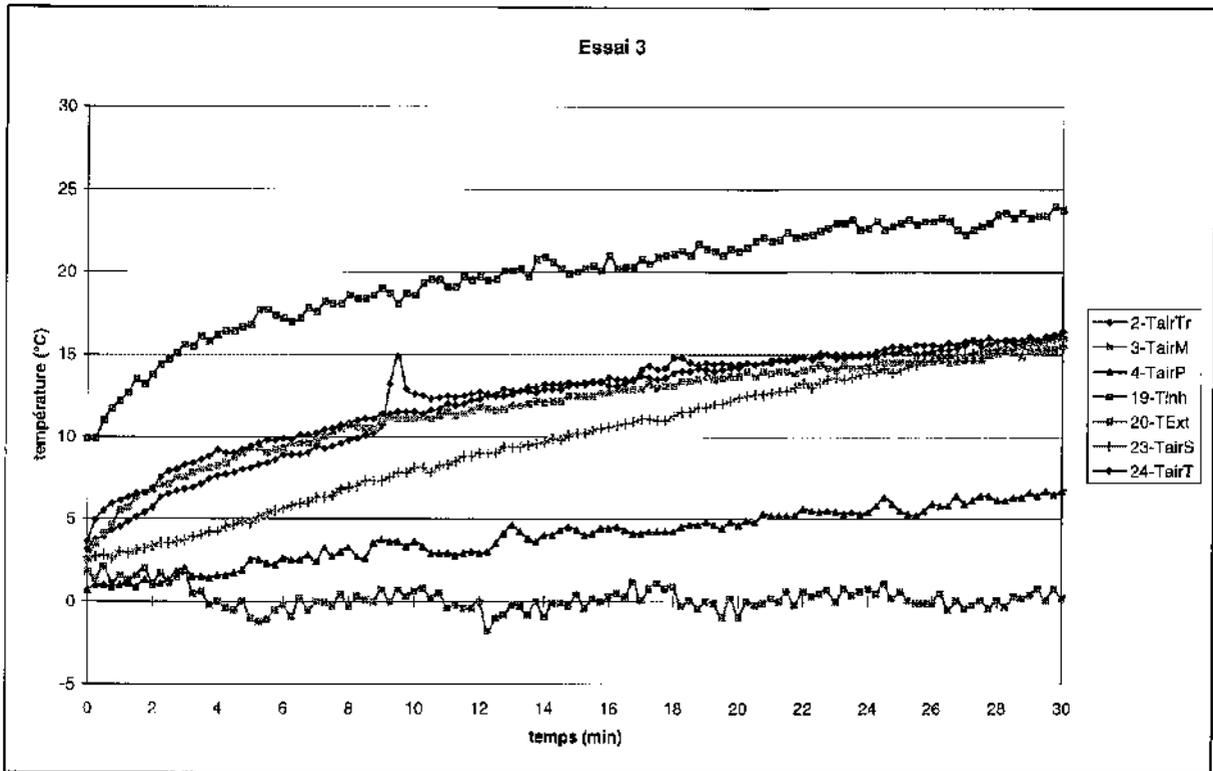


Figure 2.2.4-2 : Evolution des températures d'air (essai n°3)

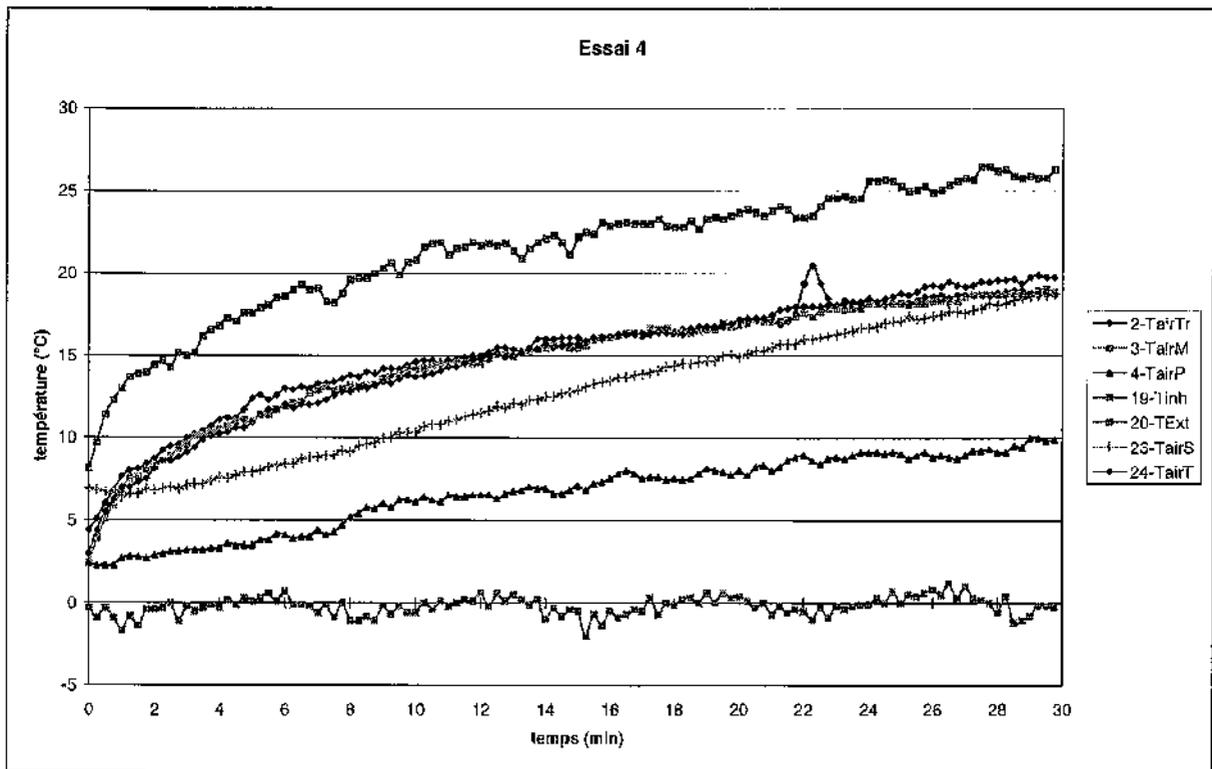


Figure 2.2.4-3 : Evolution des températures d'air (essai n°4)

2.2.5. Température du volant

La voiture est maintenant équipée d'un volant chauffant. Nous n'avions pas mesuré la température du volant lors de la campagne d'essais précédente. La technologie des capteurs infrarouge nous permet cette fois de connaître la température du volant à distance sans gêner le conducteur. On présente ci-dessous (Cf. Figure 2.2.5-1) l'évolution des températures du volant au cours de 3 essais. La vitesse de montée en température est assez grande puisque que l'on atteint 20°C au bout de 1 à 2 minutes. On atteint ensuite 30°C en moins de 3 minutes et la température de fonctionnement oscille aux alentours de 35°C (à partir de 5 minutes). Là aussi, la température du volant est différente des données du constructeur (30°C maximum). On peut supposer que la présence relativement proche du pare-brise chauffant influence la température du volant.

Remarque : On considérera, vu la précision du capteur infrarouge, que l'on connaît la température du volant à plus ou moins 2°C. Cela reste quand même une très bonne indication pour l'analyse et les simulations.

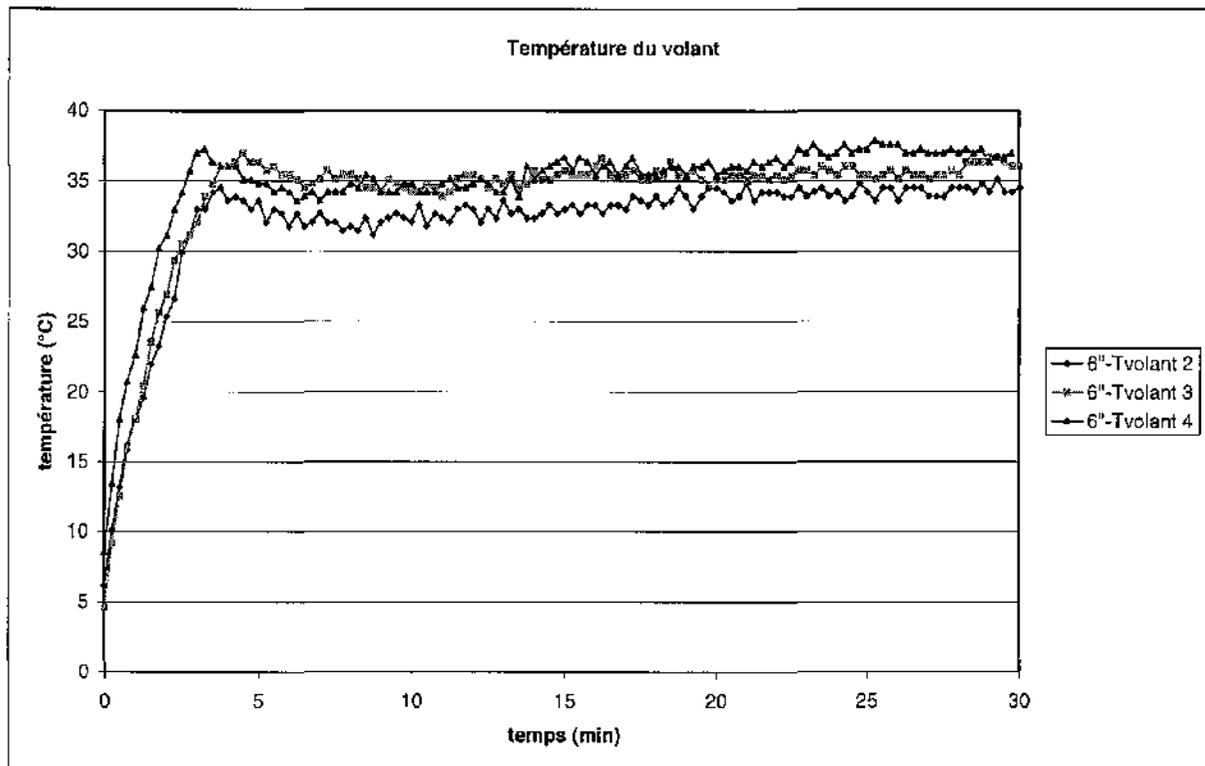


Figure 2.2.5-1 : Evolution de la température du volant pendant les essais 2, 3 et 4

2.3. Température de l'air inhalé

Comme on le sait déjà (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°3), il est important de connaître la relation entre la température de l'air inhalé par le conducteur et la température effectivement mesurée lors des essais. Cette relation a été établie l'été dernier (à partir d'expériences en chambre climatique) avec un chauffage classique par convection forcée. On ne peut pas utiliser cette relation car elle n'est plus valable dans le cas d'un chauffage orienté radiatif. Les températures à l'intérieur de l'habitacle de la 106 n'évoluent pas de la même façon. Nous avons donc placé un thermocouple sur le front du conducteur (19-Tinh) pour déterminer la nouvelle relation.

On utilisera le résultat des essais 3 et 4 pour établir la relation T_{inh} en fonction de T_{airT} (24- T_{airT}). La température de l'air inhalé évolue presque linéairement avec la température mesurée dans l'habitacle mais elle est toujours plus élevée (Cf. Figure 2.2.5-3).

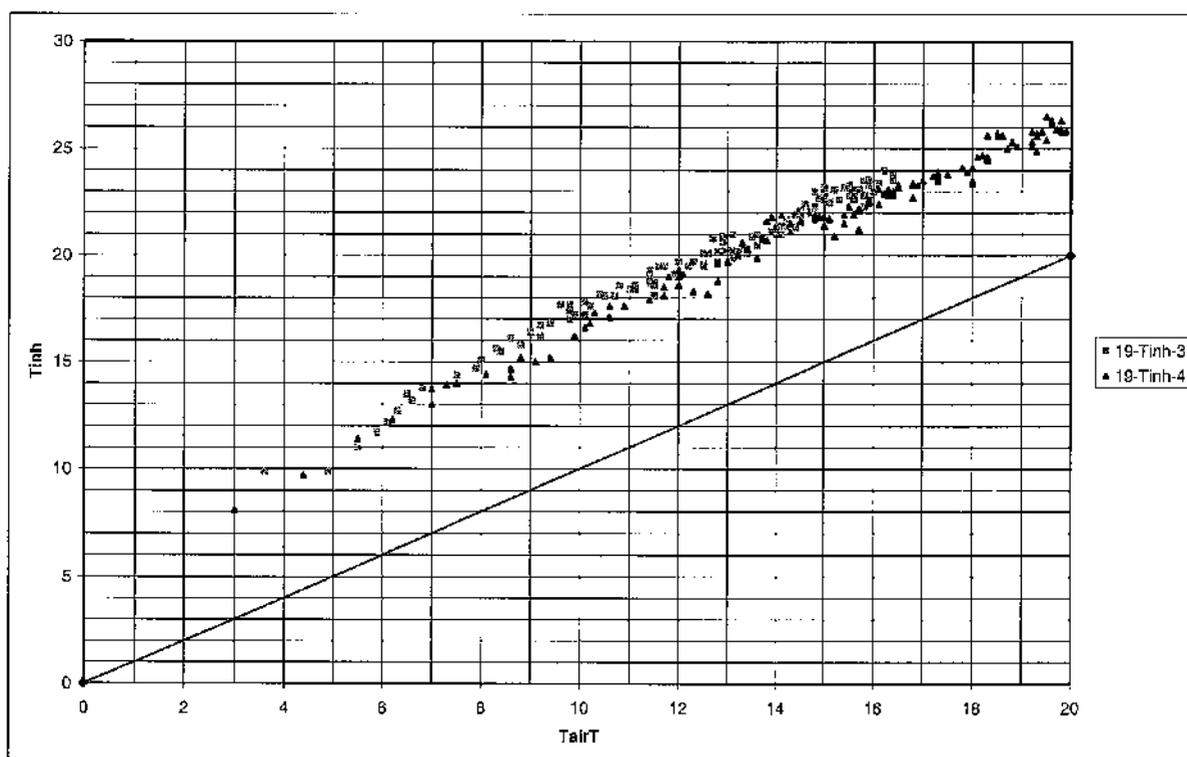


Figure 2.2.5-2 : Température de l'air inhalé en fonction de la température de l'habitacle

La nouvelle loi est donc $T_{inh} = 0.99 * T_{airT} + 6.97$ que l'on simplifiera pour utiliser :

$$T_{inh} = T_{airT} + 7$$

Remarque : On a tracé sur la Figure 2.1.1-1 la première bissectrice. Elle représente l'égalité de la température de l'air inhalé avec la température de l'habitacle.

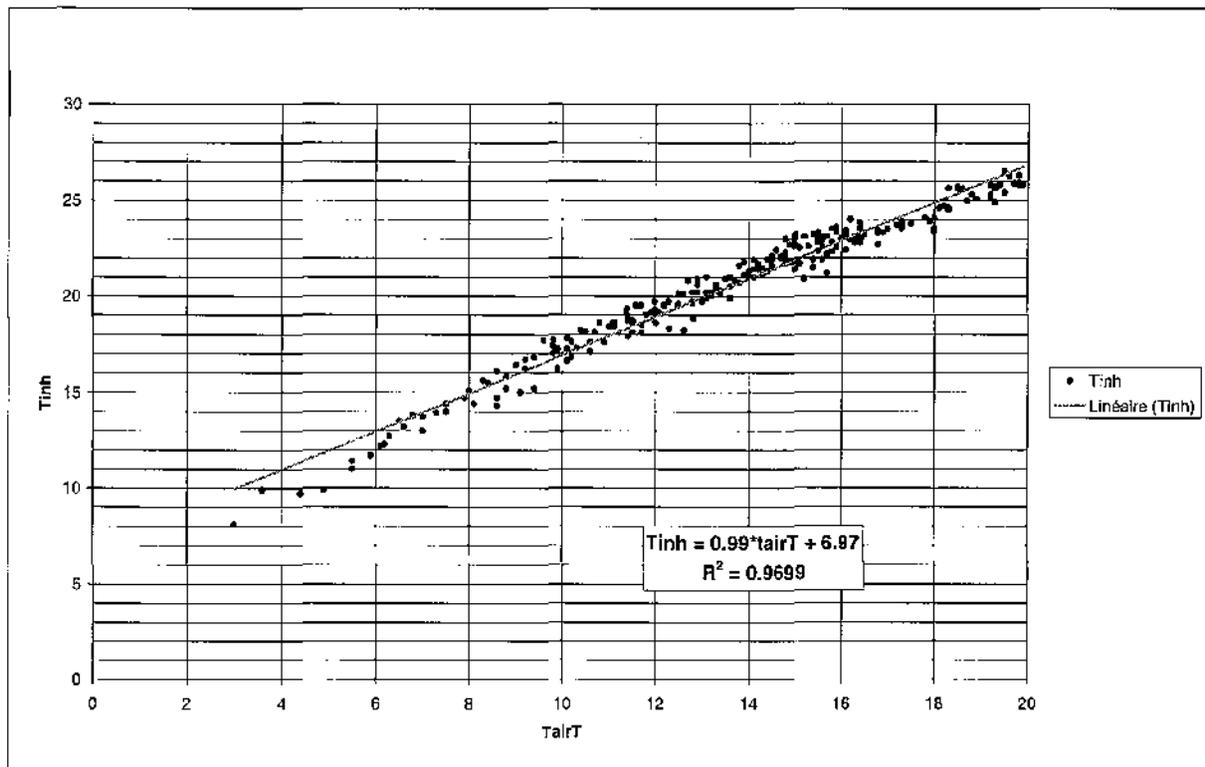


Figure 2.2.5-3 : Loi d'évolution de la température de l'air inhalé avec celle de l'habitacle

CONCLUSIONS

L'instrumentation de la voiture n'est pas toujours facile. La position des capteurs, définie sans avoir le véhicule sur place est très souvent modifiée. Il est important qu'une personne du LESETH puisse suivre l'installation du matériel de mesure. L'interprétation des résultats et les simulations dépendent grandement de la bonne connaissance de l'équipement du véhicule. On doit toujours connaître exactement ce que l'on mesure et aussi avec quelle précision on le fait.

Les essais in-situ avec la voiture équipée se déroulent actuellement à Vélizy. Ils nous permettent d'évaluer la répercussion du nouveau chauffage sur les utilisateurs. Nous utiliserons les données physiques enregistrées pour simuler ces essais avec MATHER. Nous pourrons ensuite confronter nos résultats avec ceux du LAA afin de modifier et d'optimiser le système de chauffage.

Des essais supplémentaires seront effectués avec 8 personnes. Ils permettront de tester le préchauffage du véhicule.

Chauffage d'une voiture électrique

Rapports d'avancement n°6 et 7

juin 1998

CONFIDENTIEL

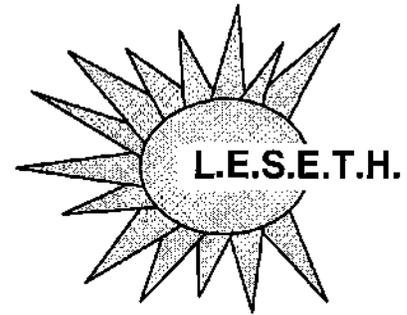
Laboratoire Etudes des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

Cédric MILVAQUE, Françoise MONCHOUX

UNIVERSITE
PAUL
SABATIER



TOULOUSE III



Chauffage d'une voiture électrique

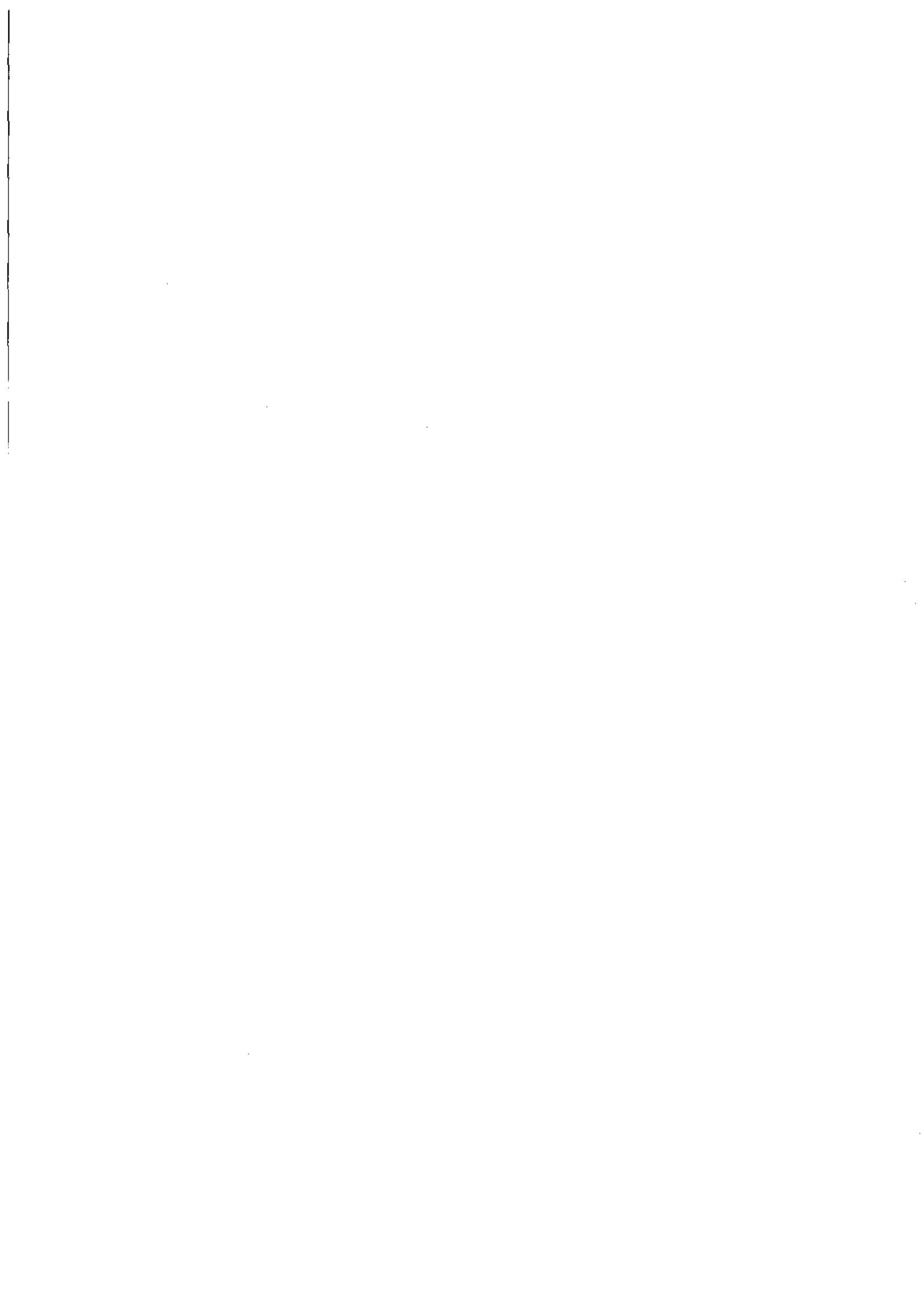
Rapports d'avancement n°6 et 7

juin 1998

CONFIDENTIEL

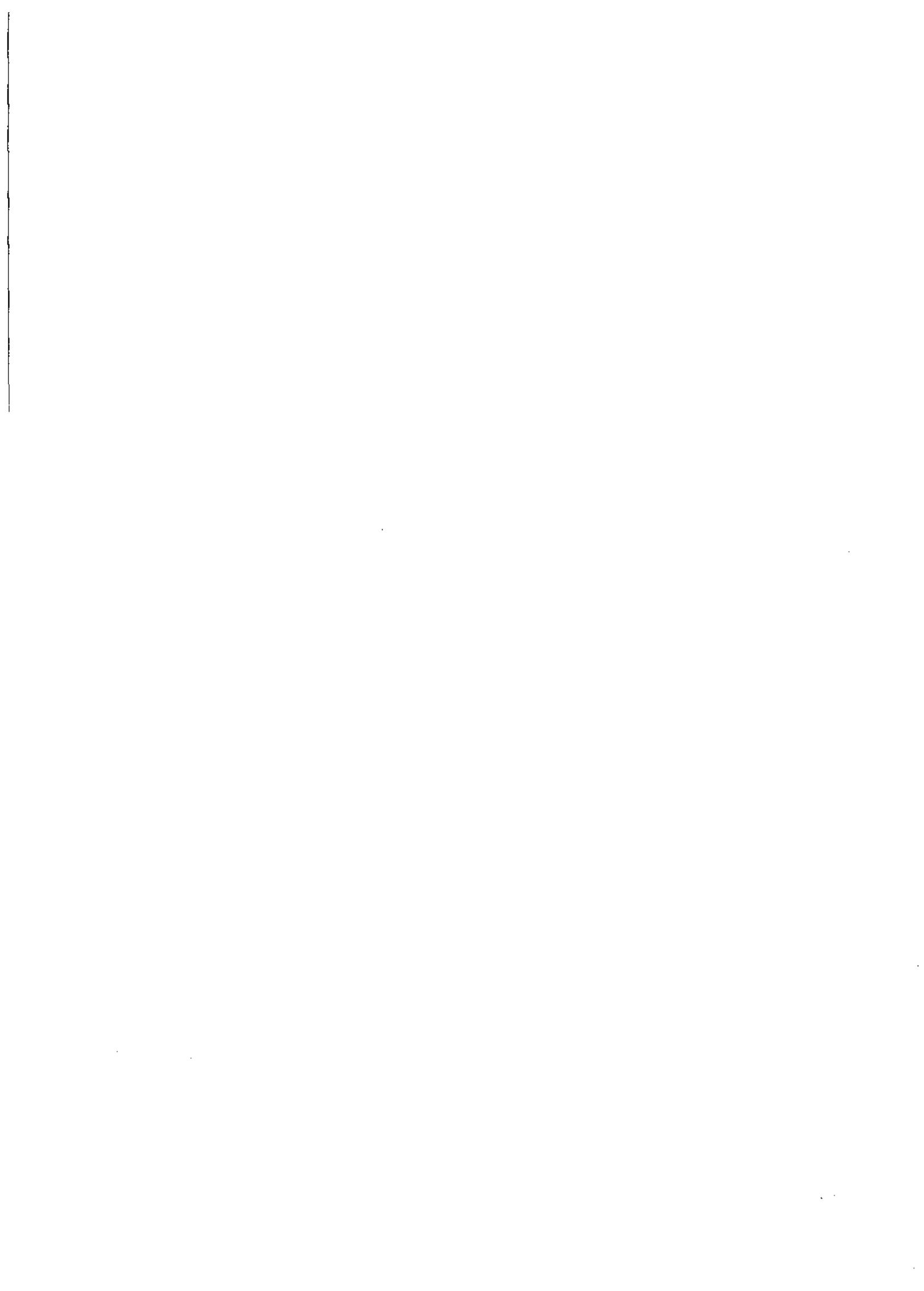
Laboratoire Etudes des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

Cédric MILVAQUE, Françoise MONCHOUX



SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
1. DONNEES EXPERIMENTALES.....	3
1.1. Graphiques.....	3
1.2. Vitesses d'air et humidité relative.....	4
1.3. Températures d'air.....	5
1.4. Températures de surface.....	6
1.5. Problèmes d'acquisition sur certains fichiers.....	7
2. SIMULATIONS.....	8
2.1. Préparation des fichiers.....	8
2.2. Vitesses d'air.....	8
2.3. Résultats.....	10
2.3.1. Températures de peau.....	10
2.3.2. Les sensations thermiques.....	12
2.3.3. Les flux échangés par le conducteur.....	15
2.3.4. Les essais avec préchauffage.....	16
CONCLUSIONS.....	19
ANNEXES.....	20



INTRODUCTION

Les essais de la 106 électrique équipée du système de chauffage radiatif ont été réalisés in-situ autour de Vélizy. Vingt-quatre personnes ont conduit le véhicule entre le 19 janvier et le 4 février. Une série supplémentaire de huit essais a été réalisée fin février pour tester le cas du préchauffage de la voiture. Les données physiques enregistrées lors de ces expériences (températures d'air et de surface, vitesses d'air, humidité relative, etc.) nous permettront d'effectuer les simulations avec MATHER. On pourra ensuite comparer le résultat des simulations avec les réponses au questionnaire récoltées lors des essais par le LAA

1. DONNEES EXPERIMENTALES

La centrale d'acquisition embarquée, couplée à un ordinateur portable, nous permet de récupérer directement les données enregistrées dans un fichier. Ce fichier est ensuite traité pour pouvoir être exploité. Nous présentons ci-dessous l'évolution du climat à l'intérieur du véhicule pendant les essais.

1.1. Graphiques

Pour tous les essais nous traçons quatre graphiques afin d'avoir une vue d'ensemble des conditions thermiques à l'intérieur de l'habitacle. Il sera bien sûr intéressant de comparer l'évolution de ces températures avec les résultats des simulations.

Le premier graphique (Graphe 1) représente l'évolution des vitesses d'air à l'intérieur de l'habitacle (échelle de gauche) ainsi que celle de l'humidité relative (échelle de droite).

Le deuxième graphique (Graphe 2) représente l'évolution des températures d'air à l'intérieur de l'habitacle. On dispose aussi de la température extérieure.

Le troisième graphique (Graphe 3) nous donne la température de surface des différents éléments chauffants pendant les essais.

Le quatrième graphique (Graphe 4) représente l'évolution des températures des surfaces non chauffées.

Nous traiterons dans ce rapport tous les essais pour lesquels l'acquisition n'a pas posé de problèmes (Cf. Paragraphe 1.5). On présente pour exemple les quatre graphiques correspondant à l'essai n°1. Les graphiques correspondant aux autres essais se trouvent dans l'annexe A.

Le zéro sur les graphiques indique le départ de l'essai (mise en route du véhicule). La période qui précède est variable selon les essais et correspond à la durée du premier questionnaire du LAA. On utilisera ce zéro comme référence pour toutes les analyses.

Afin de rendre plus compréhensible la lecture des graphiques nous explicitons ci-dessous leurs légendes.

Tableau 1.1-1 : Légende pour les graphiques

2'-VairT	Vitesse d'air au niveau de la tête
3'-VairM	Vitesse d'air au niveau des mains
4'-VairP	Vitesse d'air au niveau des pieds
5'-Hr	Humidité relative dans l'habitacle
7'-Tv>19	Température du volant
2-TairTr	Température d'air proche du tronc
3-TairM	Température d'air proche des mains
4-TairP	Température d'air proche des pieds
5-TdB	Température du tableau de bord
6-PlanNC	Température du plancher (partie non chauffée)
7-PlaArr	Température de la plage arrière
8-PavNC	Température du pavillon (partie non chauffée)
9-MonAvG	Température du montant avant gauche
10-SieCd	Température du siège conducteur (au niveau de l'assise)
11-VIAvG	Température de la vitre avant gauche
12-PareB	Température du pare-brise
13-AppT	Température de l'appui-tête
14-GsTdB	Température de la garniture sous la colonne de direction
16-SieP	Température du siège passager (au niveau de l'assise)
17-Porte	Température de la portière gauche (garnissage)
18-PavAr	Température du pavillon chauffant (partie arrière)
20-TExt	Température de l'air extérieur (sur le rétroviseur gauche)
21-TCAvD	Température du tapis chauffant passager
22-PavAv	Température du pavillon chauffant (partie avant)
23-TairS	Température de l'air en sortie du tuyau
24-TairT	Température d'air proche de la tête (température habitacle)
25-TCAvG	Température du tapis chauffant conducteur
26-TairJ	Température d'air proche des jambes
27-TairA	Température d'air à l'arrière de l'habitacle

1.2. Vitesses d'air et humidité relative

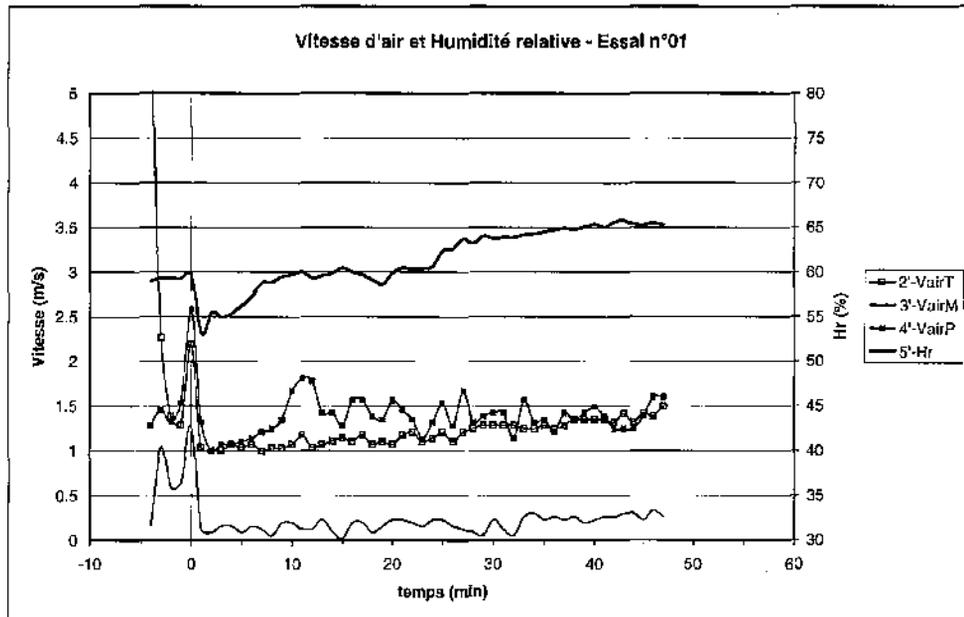
Les vitesses d'air mesurées pendant les essais ont sensiblement toutes la même allure. La vitesse d'air au niveau des mains oscille entre 0,1 et 0,5 m/s, les autres sont comprises entre 1 et 1,5 m/s. Les 3 vitesses sont à peu près constantes. Cette constance s'explique facilement car on ne touche pas au soufflage de l'air au cours des essais. La valeur de la vitesse d'air au niveau des mains semble correcte. Par contre, les deux autres paraissent anormalement élevées.

On présente dans le chapitre concernant les simulations (Cf. paragraphe 2.2) la comparaison des résultats de simulation avec les vitesses d'air expérimentales, et avec une vitesse d'air théorique faible (0,1 m/s).

L'évolution de l'humidité relative à l'intérieur de l'habitacle est toujours la même. On observe une chute au début de l'essai puis une augmentation progressive et assez importante (on dépasse souvent 65 %). Au départ, on chauffe souvent toutes les surfaces, de ce fait la température de l'air va rapidement augmenter d'où la diminution de l'humidité relative (assèchement). Ensuite, la température de l'air augmente toujours mais plus faiblement, la présence du conducteur (plus celle d'une personne à l'arrière du véhicule) est une source

d'humidité importante. Cette dernière "prend le pas" sur le chauffage de l'air et l'humidité relative augmente donc jusqu'à la fin de l'essai.

L'augmentation de l'humidité relative va favoriser la création de buée sur les vitrages dont la température est faible.

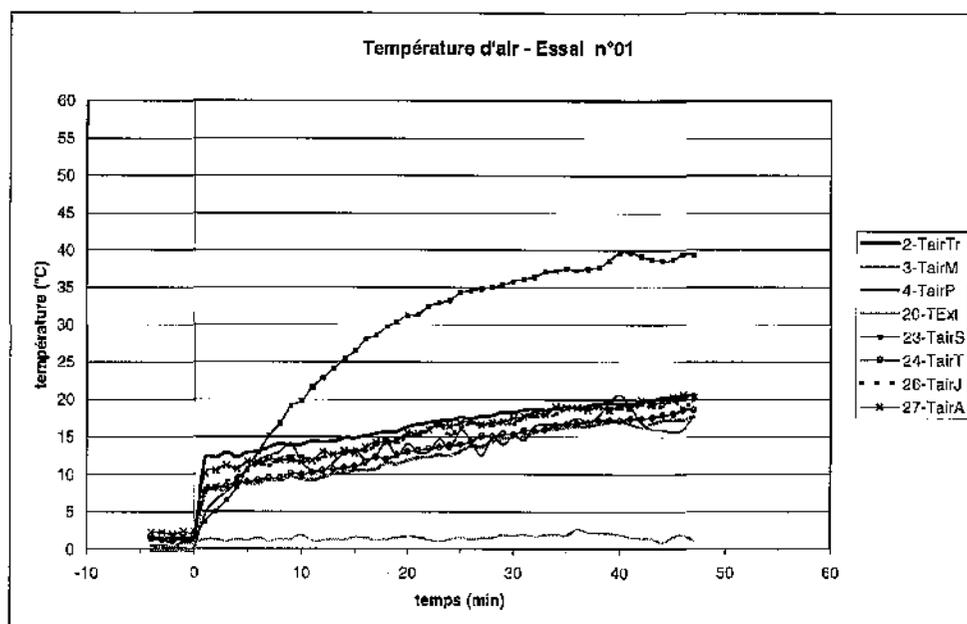


Graphie 1 : Vitesses d'air et humidité relative – Essai n°1

1.3. Températures d'air

Les conditions climatiques ont été beaucoup plus favorables, c'est à dire hivernales, que pour les essais de l'hiver 1997. La première remarque que l'on peut faire, c'est que les températures d'air avant le début des essais sont relativement froides. Elles sont comprises entre 0 et 5°C. Les températures augmentent toutes de la même façon avec la mise en marche des différents éléments chauffants. On atteint la température de 15°C au bout de 20 minutes (-/+ 5 mn). Les températures approchent (ou dépassent) 20°C aux alentours de 40 minutes (-/+ 5 mn).

On remarque sur beaucoup d'essais une augmentation très rapide des températures d'air à l'intérieur de l'habitacle au début de l'essai (temps = 1 minute). En effet avant le début de l'expérience les portières sont ouvertes et la température que l'on mesure est intermédiaire entre la température extérieure et la température de l'habitacle. La fermeture des portes, le petit volume intérieur de la voiture ainsi que la présence de deux personnes explique ce saut.



Graphe 2 : Températures d'air – Essai n°1

Pour la plupart des essais, la température de l'air soufflé dans l'habitacle proche de la tête du conducteur (23-TairS) est très supérieure à la valeur souhaitée (18 à 20°C). Elle dépasse les 20°C très rapidement et atteint même 40°C vers la fin des expériences. La température atteinte est supérieure à celle initialement prévue. Il est très difficile d'imposer une température constante car nous avons utilisé le système de chauffage présent dans la 106. Son réglage dépend grandement des conditions extérieures (vitesses de la voiture et température de l'air extérieur). Nous n'avons pas effectué de test préliminaire sur cette température en chambre climatique par manque de temps (une seule journée de travail). Il faudra prévoir pour les essais futurs une autre solution pour augmenter la température de l'air à proximité de la tête (et des pieds). La solution type "sèche-cheveux" envisagée en réunion n'a pas pu être installée pour les essais de cet hiver.

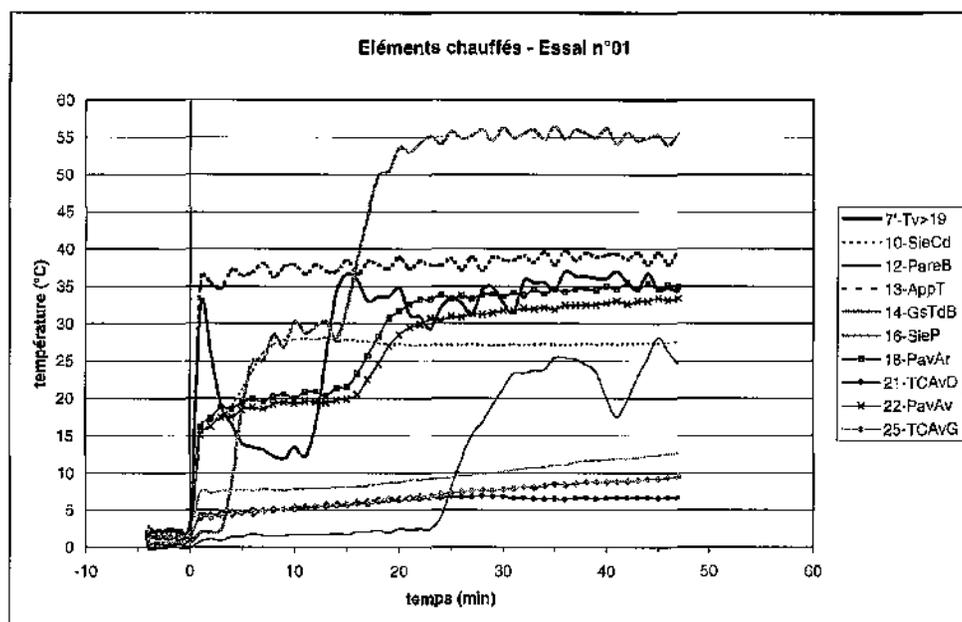
1.4. Températures de surface

On représente l'évolution des températures de surface sur deux graphiques. Le premier graphique (Graphe 3) concerne les éléments qui peuvent être chauffés alors que le deuxième (Graphe 4) concerne les surfaces passives de l'habitacle.

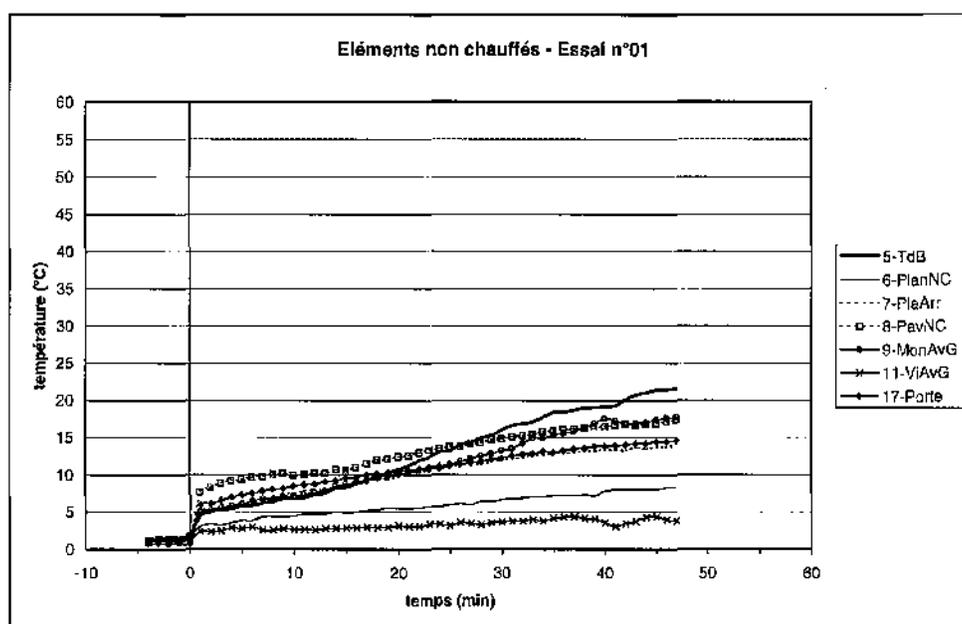
Si on compare avec les essais en chambre climatique (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°5), on remarque que la température maximale atteinte par les surfaces chauffées est quasiment identique lors des expériences in-situ sauf celle du pare-brise (12-PareB). Pour tous les essais traités dans ce rapport, la température moyenne atteinte par le pare-brise est comprise entre 24 et 28°C avec un temps de montée plus important (environ 10 minutes). En effet, les essais en chambre climatique sont des essais statiques et la vitesse de la voiture, qui influence énormément la température du pare-brise, n'est pas reproduite.

La température du volant (7-Tv>19) est aussi différente lors des expériences in-situ. Si la température maximale reste identique (35°C), on observe des variations importantes et irrégulières de température. Ceci peut s'expliquer par le fait que le conducteur passe les mains devant le capteur infrarouge. Il arrive aussi que le chauffage du volant soit malencontreusement désactivé par le conducteur. En effet, le bouton de marche/arrêt situé au centre du volant est assez sensible et peut facilement être actionné.

Les températures de surface qui restent basses concernent les éléments chauffants non utilisés lors des expériences.



Graph 3 : Températures des éléments chauffants – Essai n°1



Graph 4 : Températures des éléments non chauffants – Essai n°1

1.5. Problèmes d'acquisition sur certains fichiers

Le dépouillement des essais a mis en évidence un problème d'acquisition pour certains essais. En effet, l'acquisition des températures est "brouillée" dès le début de l'expérience. Ce brouillage disparaît parfois après quelques minutes. Ce problème, découvert seulement à la fin des manipulations n'a toujours pas été résolu. On peut quand même remarquer que les essais incriminés ont tous eu lieu en premier lors des journées d'essais. La centrale d'acquisition était allumée après avoir passé la nuit dans le froid. On peut penser que la centrale a besoin d'un

temps de mise en route plus important et que l'on aurait dû prévoir de l'allumer bien avant le début de l'essai. Ceci expliquerait bien le fait que l'acquisition se déroule correctement après quelques minutes et ne pose pas de problèmes lors des seconds essais. La plupart des cartes d'acquisition pour thermocouples nécessite un temps de chauffe avant de pouvoir effectuer correctement la compensation électronique de soudure froide.

Les 6 expériences inutilisables sont les essais n° 9, 11, 13, 17, 23 et 26.

2. SIMULATIONS

2.1. Préparation des fichiers

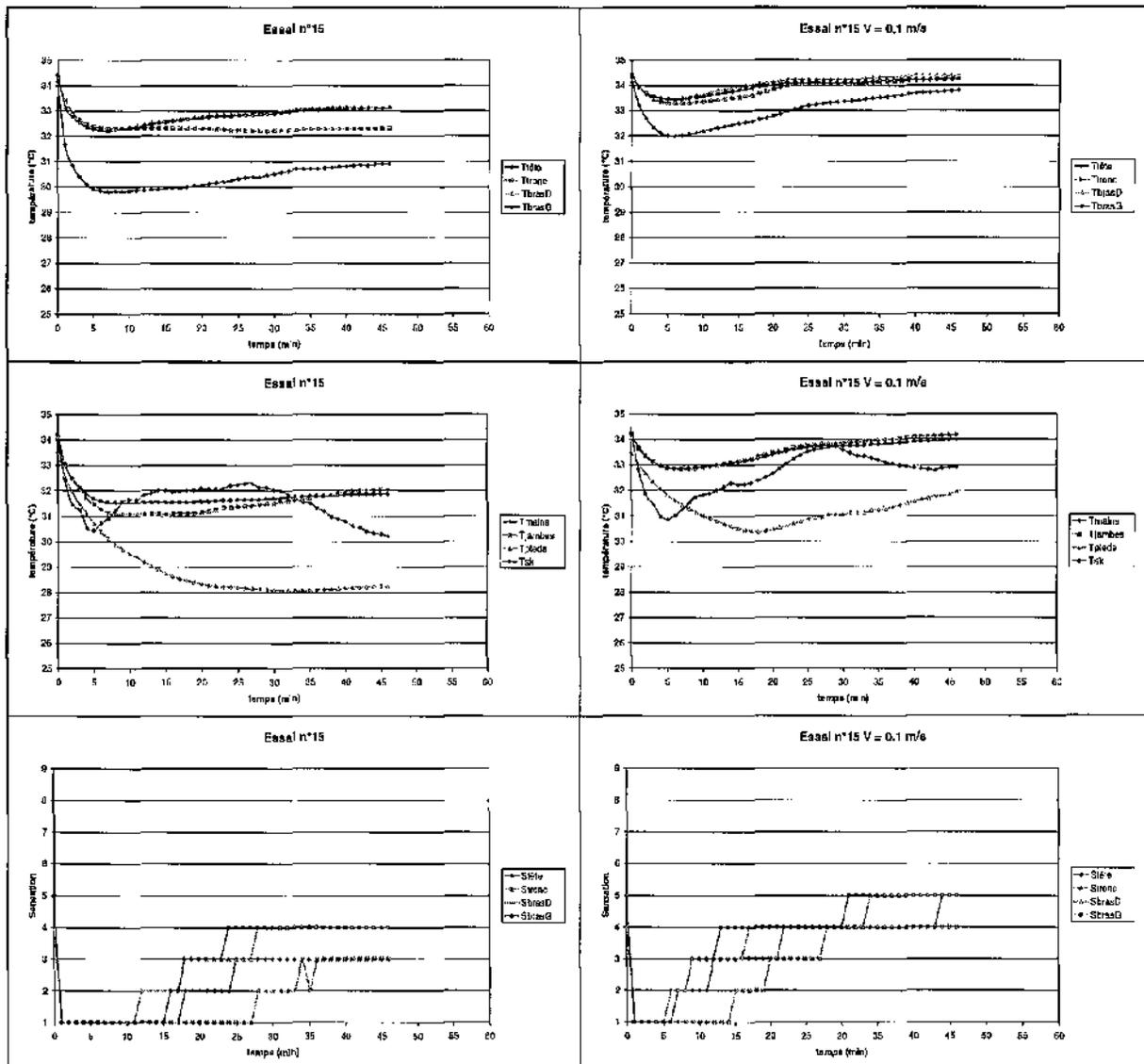
Les fichiers bruts des expériences ne peuvent pas être utilisés directement pour les simulations. On a besoin de les traiter afin qu'ils soient conformes au formalisme de TrnSys. Pour chaque expérience on dispose d'un fichier sortant directement du logiciel d'acquisition. On doit d'abord vérifier qu'il n'y a pas eu de problèmes lors de l'acquisition des données. Le fichier est ensuite ouvert dans Excel pour être modifié. Certaines données comme les températures sont directement dans la bonne unité, d'autres comme l'humidité relative et les vitesses d'air doivent être modifiées. Une fois ce traitement effectué, on va créer deux fichiers au format texte qui seront utilisés par MATHER. On est obligé de créer deux fichiers distincts car le type 9 de TrnSys permettant de lire les données à partir d'un fichier n'accepte que dix-huit entrées, or il faut en lire trente deux.

2.2. Vitesses d'air

Comme on peut l'observer sur les courbes de données expérimentales, les vitesses d'air mesurées à l'intérieur de l'habitacle semblent élevées vu que l'on n'a pas de circulation d'air forcée (chauffage uniquement radiatif). Nous avons donc effectué une série de mesures à l'aide d'un anémomètre à fil chaud portatif lors d'un roulage in-situ. C'est avec cette même sonde que les vitesses d'air ont été cartographiées lors de la campagne avec la ZX. Nous avons mesuré la vitesse d'air proche des 3 sondes embarquées ainsi qu'à proximité du conducteur. Les résultats ci-dessous (Cf. Tableau 2.2-1) nous confortent dans l'idée que les mesures de vitesses d'air effectuées pendant les essais sont entachées d'erreurs. Nous avons donc décidé d'utiliser pour toutes les simulations une vitesse d'air proche du conducteur constante et égale à 0,1 m/s. La plupart des vitesses sont sans doute inférieures à cette vitesse mais le coefficient de convection reste le même entre 0 et 0,1 m/s. On présente sur les courbes suivantes (Cf. Figure 2.2-1) la comparaison pour un même essai des simulations avec les vitesses expérimentales et avec une vitesse faible. On remarque notamment l'influence des vitesses d'air sur les flux rayonnés et convectés. La situation avec les vitesses égales à 0,1 m/s semble plus conforme à la réalité et au mode de chauffage.

Situation	Vitesse relevée (moyenne sur 20 mesures)
Pieds (proche sonde 4'-VairP)	0,115 m/s
Mains (proche sonde 3'-VairM)	< 0,1 m/s
Tête (proche sonde 4'-VairT)	< 0,1 m/s
Sortie d'air bouche d'aération	0,486 m/s
Front	< 0,1 m/s
Cuisse	< 0,1 m/s
Tibia	< 0,1 m/s
Mollet	< 0,1 m/s

Tableau 2.2-1 : Vitesses d'air relevées avec la sonde portable



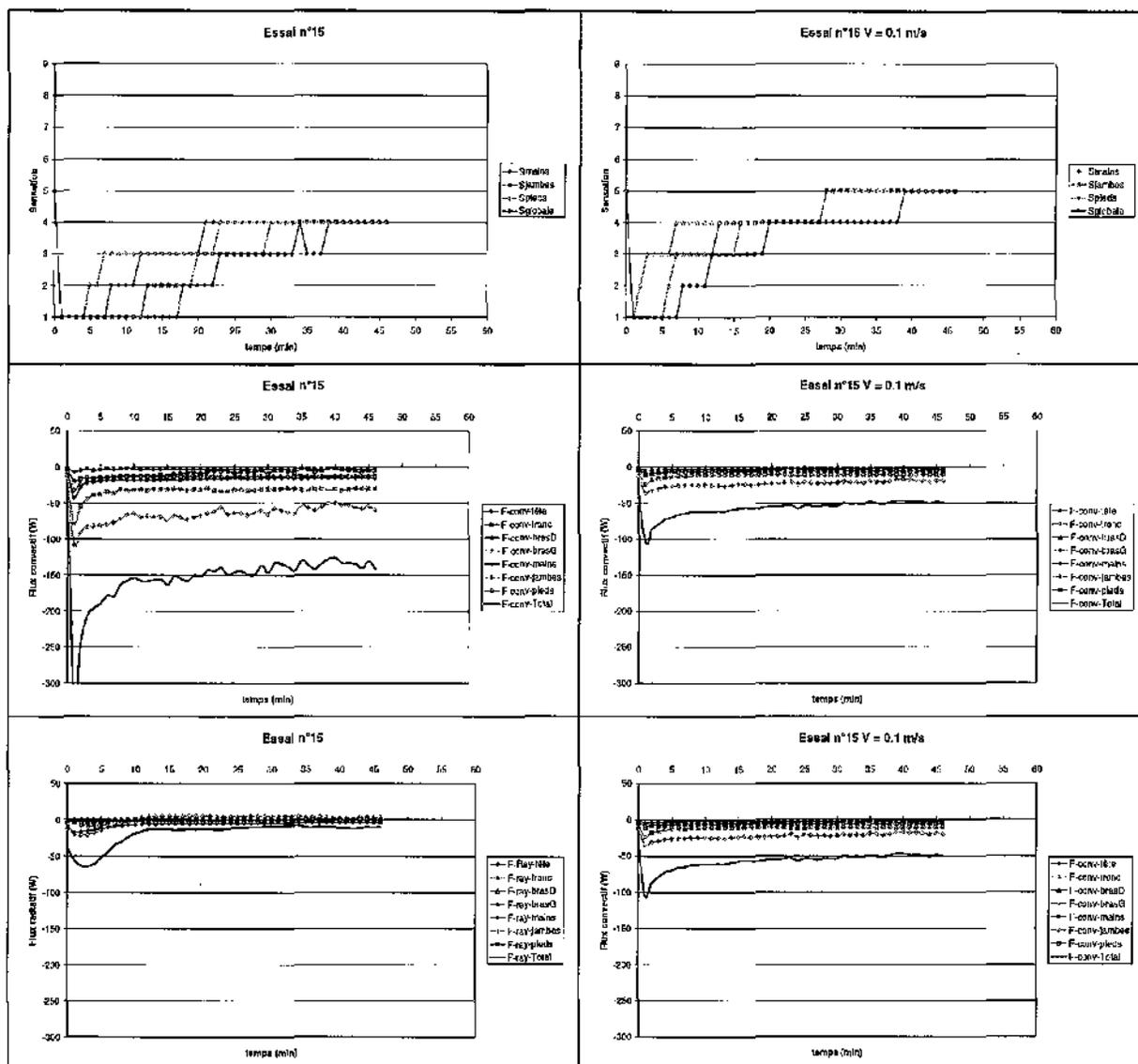


Figure 2.2-1 : Comparaison des simulations avec et sans une vitesse de 0,1 m/s

2.3. Résultats

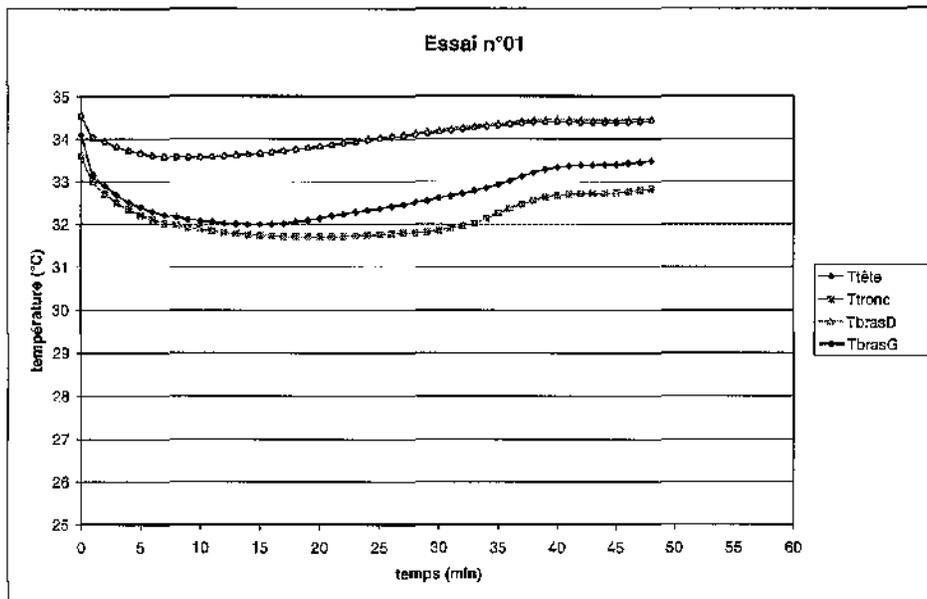
Nous avons donc simulé toutes les expériences dont les fichiers d'acquisitions ne présentent pas de problèmes. Pour chaque expérience, nous insérons comme à l'accoutumée une période de mise en équilibre de 30 minutes. La vitesse d'air proche des 7 segments du conducteur reste constante et égale à 0,1 m/s. Nous représentons les résultats de chaque simulation sur 6 graphiques différents. Les deux premiers représentent l'évolution des températures de peau au cours de l'essai. Deux graphiques représentent l'évolution des sensations pour chaque segment du mannequin thermique plus la sensation globale. Les deux derniers représentent les flux échangés locaux et globaux. Tous ces graphiques sont présents dans l'annexe B. Nous utiliserons l'essai n°1 comme support pour l'analyse des résultats.

2.3.1. Températures de peau

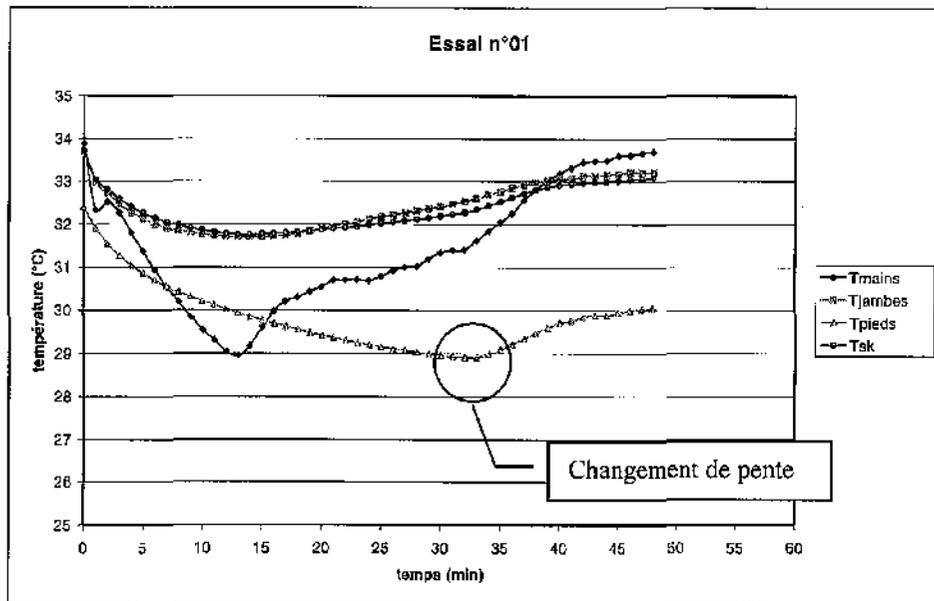
Pour tous les segments (Cf. Graphe 5 et Graphe 6), la température de peau diminue dès l'entrée dans le véhicule froid. Elles remontent ensuite progressivement avec les températures

internes de l'habitacle (températures de surfaces et d'air) pour retrouver un niveau proche de la mise en équilibre. Seuls deux segments ne suivent pas cette évolution.

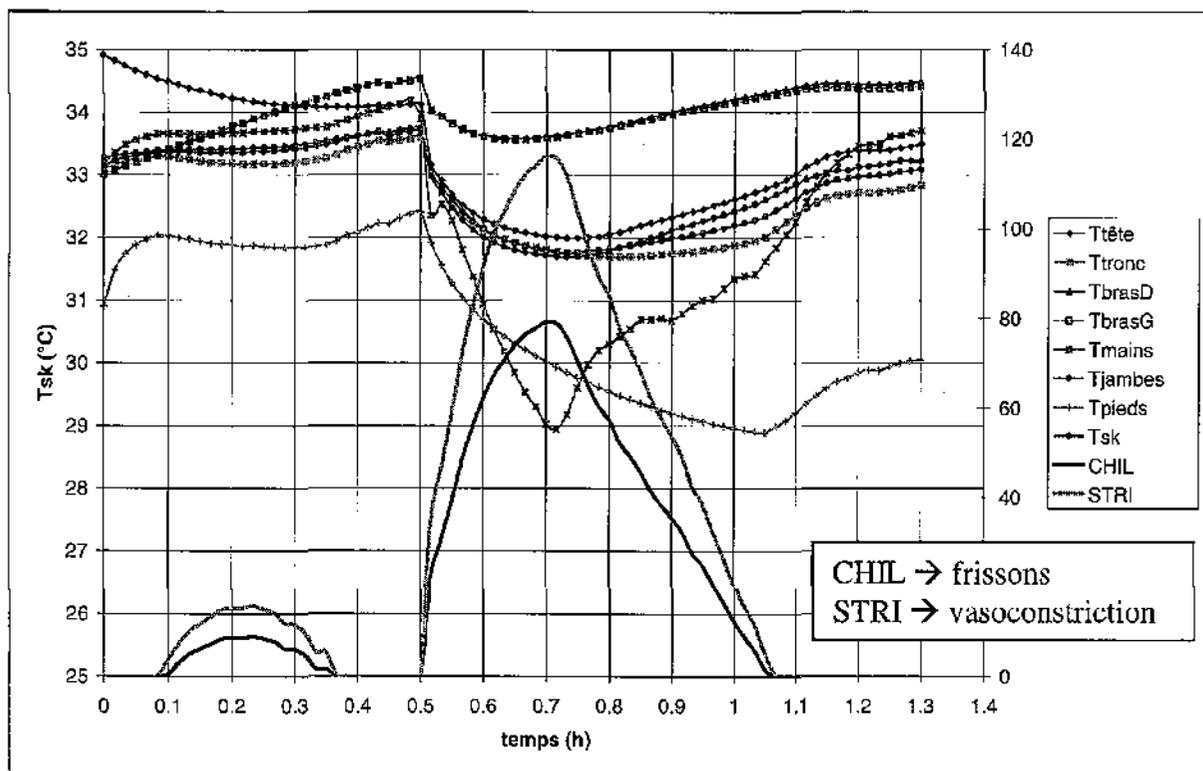
La température des mains dépend grandement de la température du volant. Elle diminue plus rapidement que les autres au contact du volant froid et remonte ensuite avec la température de celui-ci. En fait, la seule partie du corps qui n'arrive pas à retrouver sa température de départ est celle des pieds. De plus, on remarque sur la majeure partie des essais un changement brutal de pente sur cette même température. Ce changement apparaît entre 25 et 35 minutes après la rentrée dans le véhicule. Pour expliquer ce phénomène, on a tracé sur un même graphe l'évolution des températures de peau et les signaux de commande des frissons et de la vasoconstriction (Cf. Graphe 7). Dès l'entrée dans l'habitacle, l'ambiance froide fait chuter les températures de peau. Les thermorécepteurs vont rapidement capter ce changement et le système de thermorégulation va fonctionner. Les deux phénomènes de lutte contre le froid, les frissons et la vasoconstriction sont commandés. Leurs intensités ne diminuent qu'avec le réchauffement du corps (tous les segments sauf les extrémités) pour s'arrêter quand les températures de peau sont suffisamment hautes. A ce moment précis, les faisceaux sanguins des extrémités et en particulier des pieds vont se dilater et permettre au sang d'affluer en plus grande quantité. Ce changement de section va brutalement faire remonter la température des extrémités.



Graph 5 : Températures de peau pour l'essai n°1



Graph 6 : Températures de peau pour l'essai n°1

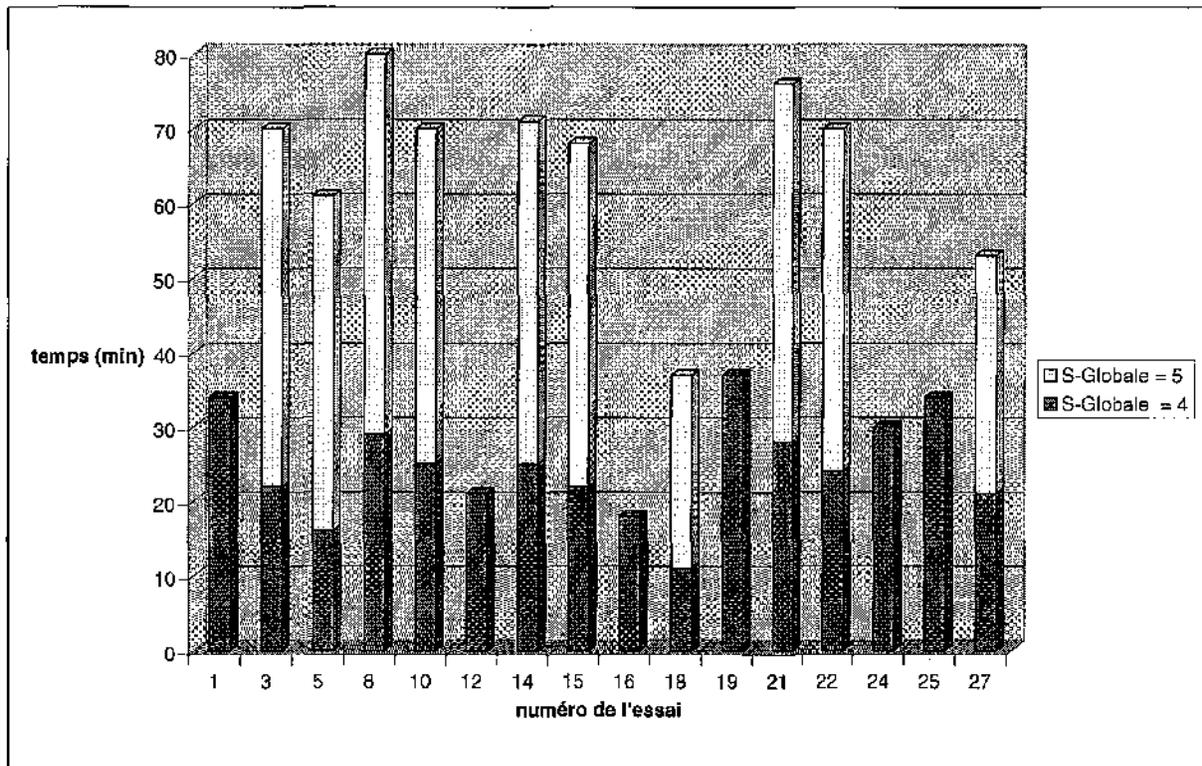


Graph 7: Tsk et signaux de commande de la thermorégulation

2.3.2. Les sensations thermiques

Pour tous les essais sans préchauffage on retrouve une évolution identique des sensations du conducteur (Cf. Graph 9 et Graph 10). Comme pour les températures de peau, les sensations chutent au début de l'expérience (véhicule froid). Elles remontent ensuite progressivement avec le réchauffement de l'intérieur de l'habitacle. On regroupe ci dessous (Cf. Graph 8) le temps nécessaire pour atteindre une sensation globale de confort. On

considère que le confort équivaut aux notes 4, 5 et 6. Tous les essais simulés ont permis d'atteindre une note de sensation globale égale à 4 au bout de 25 minutes en moyenne. Il faudra bien sûr comparer ces valeurs avec les résultats du questionnaire de LAA avant toute conclusion. Les résultats de la simulation présentés dans ce paragraphe sont ceux de l'essai n°1. Il représente assez bien l'ensemble des expériences. Toutes les simulations sont présentées dans l'annexe B.



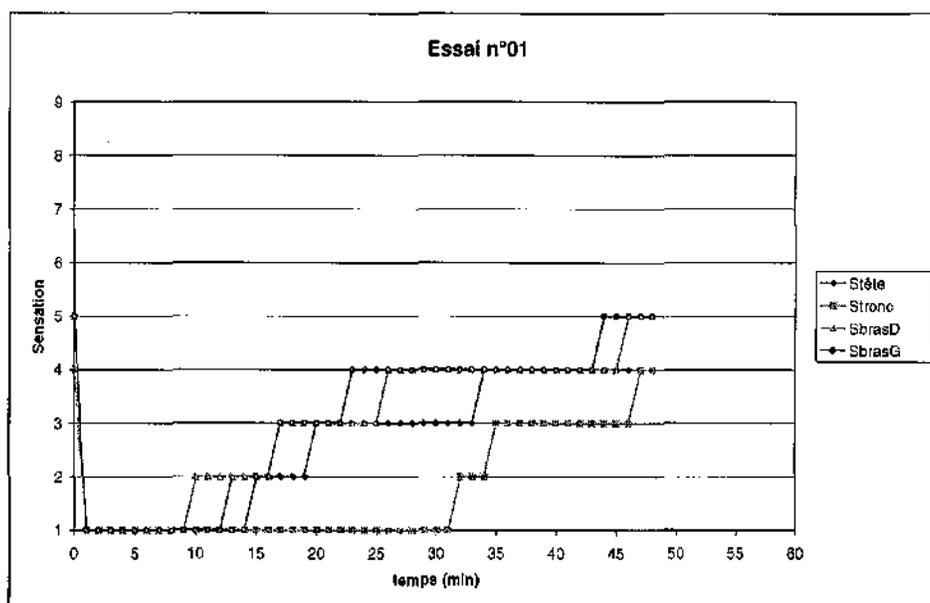
Graph 8 : Temps pour atteindre la sensation globale de confort

Deux sensations ne suivent pas la même évolution que les autres. Il s'agit des sensations au niveau du tronc et des pieds. Pour le tronc, la sensation est généralement plus basse que celle des autres segments et remonte avec un temps de retard (entre 5 et 10 minutes). En fait, la température du tronc est elle aussi plus faible que les autres parties du corps. S'il n'échange pas de flux sur sa partie arrière (en contact avec le siège) le tronc dispose d'une grande surface d'échange avec le milieu environnant. Ce milieu est durant la majeure partie de nos expériences de l'air assez frais (environ 15°C). Le système de chauffage radiatif mis en place dans la 106 doit normalement compenser ce phénomène de refroidissement par convection. Dans le cas du tronc, il n'y a pas, contrairement aux autres segments une paroi chaude (ou réfléchissante) très proche. La diminution des pertes radiatives est donc beaucoup moins efficace pour ce segment du corps.

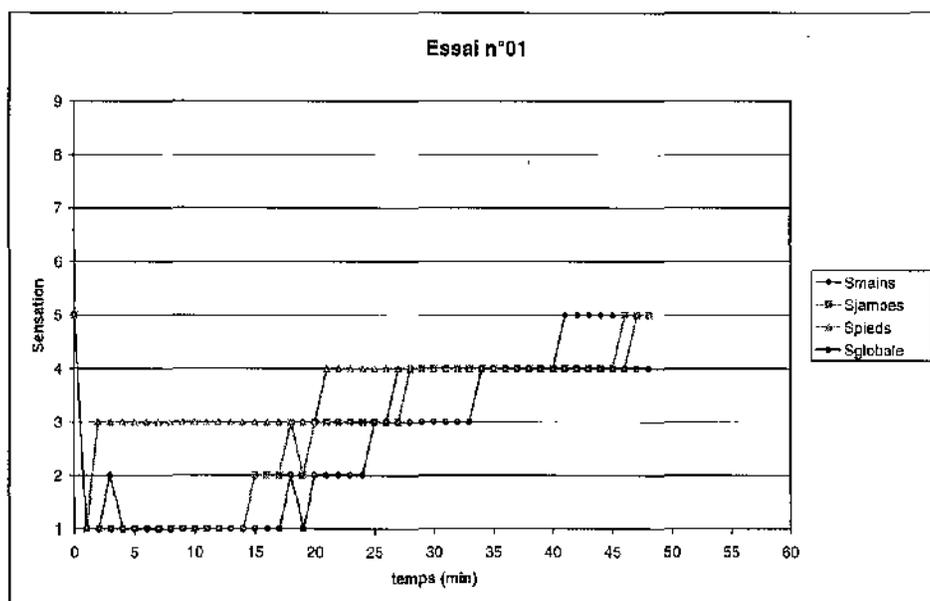
La sensation au niveau des pieds diffère aussi des autres. Si la température des pieds ne cesse de décroître durant les deux tiers des essais, la sensation elle, remonte bien avant les autres segments. Il faudra vérifier qu'elle a été l'impression de tous les conducteurs lors des expériences mais il semble que cela ne correspondra pas très bien avec la sensation simulée au niveau des pieds. On peut quand même préciser qu'une sensation égale à trois (sensation atteinte très rapidement lors des simulations) n'est pas une sensation de confort. De plus, il ne faut pas oublier que l'échelle de sensation utilisée pour notre étude a été établie dans des conditions bien précises : essais dans une chambre climatique, un seul essayeur, une ZX et surtout un chauffage classique (convection forcée). Si les résultats des simulations pour les

expériences précédentes (hiver 1997) ont montré que l'on pouvait utiliser cette échelle dans une autre voiture et dans des conditions réelles, elle est sûrement moins bien adaptée au mode de chauffage radiatif (surtout pour la sensation des pieds).

Remarque : On peut voir sur les graphes (Cf. Figure 2.2-1) que la sensation au niveau des pieds remonte moins rapidement avec une vitesse d'air proche des pieds plus importante. La présence d'un courant d'air sur les pieds (non mesuré) permettrait aux simulations de se rapprocher des sensations exprimées par les conducteurs



Graph 9 : Sensations simulées (tête, tronc et bras)

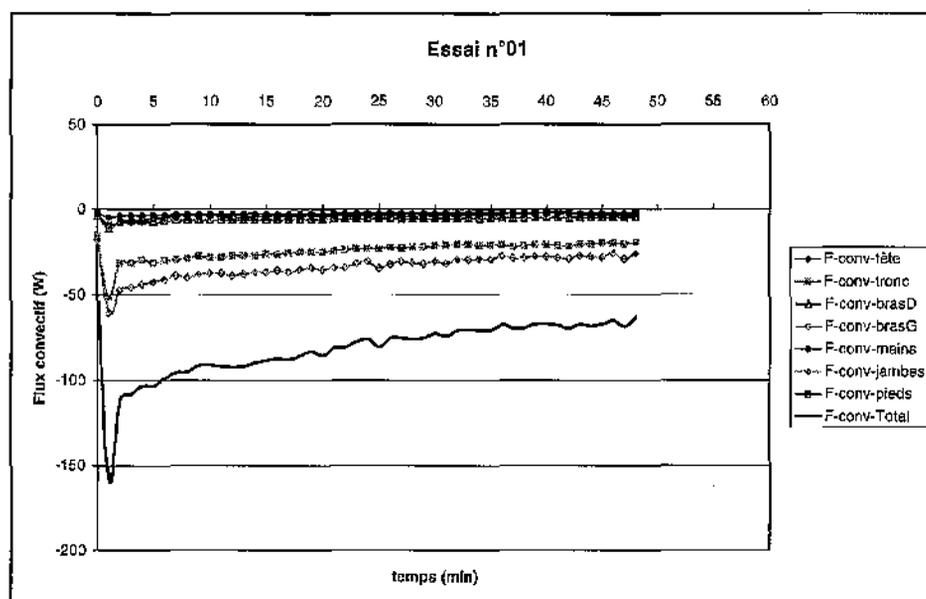


Graph 10 : Sensations simulées (mains, jambes, pieds et globale)

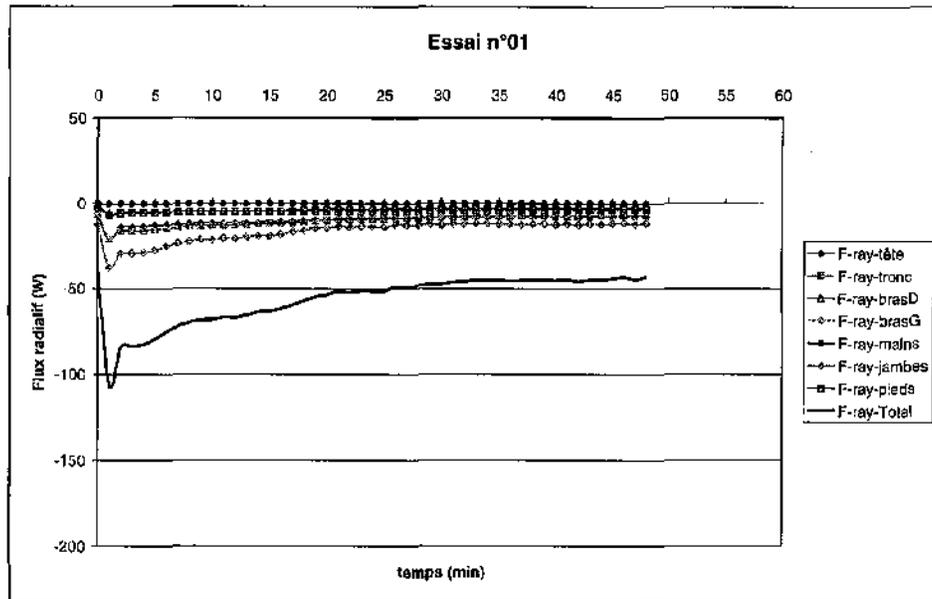
2.3.3. Les flux échangés par le conducteur

Il est intéressant de regarder l'évolution des flux thermiques échangés par le conducteur avec l'habitacle. On montre ci-dessous (Cf. Graphe 11 et Graphe 12) les flux convectés et rayonnés locaux et globaux. On voit bien que les pertes à l'entrée dans l'habitacle sont très importantes et que la mise en marche des éléments chauffants permet de les diminuer tout au long de l'essai. Les pertes normales (métabolisme de base et travail) sont pour toutes les simulations égales à 1,4 met (environ 140 W). Si les échanges avec le milieu extérieur (pertes) sont plus importants, le corps se refroidit et le conducteur a une sensation de froid. Au contraire, s'ils sont inférieurs le corps se réchauffe. Ici, si on ne tient pas compte des échanges conductifs (notamment entre les mains et le volant), la somme des flux échangés est proche de 140 W au bout de 25 minutes. Ce temps correspond à l'obtention de la sensation globale de confort (Cf. Paragraphe 2.3.2).

On peut aussi remarquer que les pertes par convections sont les plus importantes ce qui semble logique vu le type de chauffage. Les pertes radiatives sont elles relativement faibles car on chauffe les surfaces de l'habitacle en vis à vis avec le conducteur.



Graphe 11 : Flux convectés

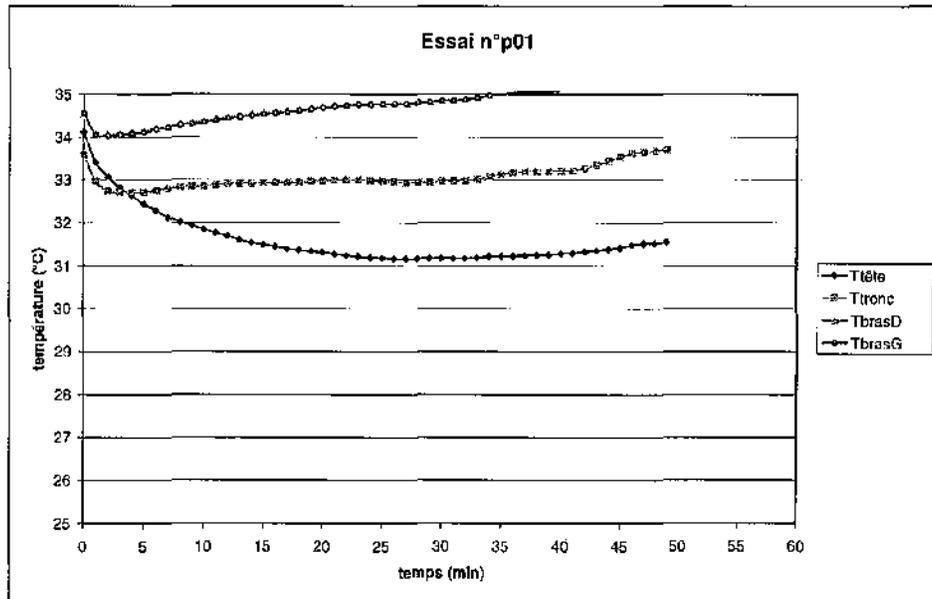


Graphe 12 : Flux rayonnés

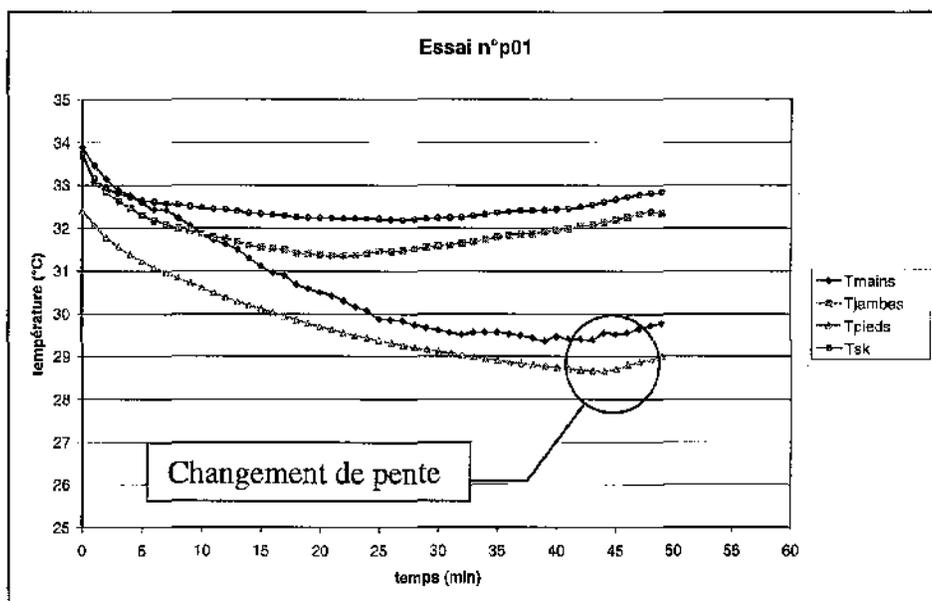
2.3.4. Les essais avec préchauffage

Une série supplémentaire de huit essais à été réalisée afin d'observer les effets du préchauffage du véhicule sur les sensations du conducteur. Dans ces conditions, celui-ci ne rentre pas dans une voiture froide mais dans une voiture où les températures sont voisines de 20°C (Cf. Conditions climatiques Annexe A). Le préchauffage de l'habitacle est réalisé avec les dispositifs installés dans la 106. Tous les éléments chauffants sont mis en marche pendant le temps nécessaire à l'obtention de conditions climatiques neutres dans le véhicule. Le temps de préchauffage dépend essentiellement des conditions extérieures et de la position de l'expérience dans la journée d'essai. Si l'essai est le premier de la journée, la voiture restant toute la nuit dehors, le temps de préchauffage est d'environ une demi-heure. Pour l'essai suivant (il y en a deux par matinée), la voiture n'a pas le temps de se refroidir et le temps de chauffe est de dix minutes.

Si on regarde l'évolution des températures de peau (Cf. Graphe 13 et Graphe 14), on voit qu'il y a une chute à l'entrée dans le véhicule. Cette chute, bien que semblable à celle observée pour les essais classiques, reste plus faible. L'évolution des températures est elle aussi similaire à celle sans préchauffage. Le changement de pente brutale de la température des pieds est toujours présent. Bien que les conditions dans l'habitacle soit plus chaudes, le corps a tendance à se refroidir et utilise la vasodilatation pour lutter contre le froid. Pour ces conditions climatiques, seul ce dernier système de régulation est mobilisé car le refroidissement ne nécessite pas la commande des frissons. On peut remarquer que pour la simulation présentée ici, le changement de pente se retrouve aussi sur les mains car le conducteur n'a pas chauffé le volant.

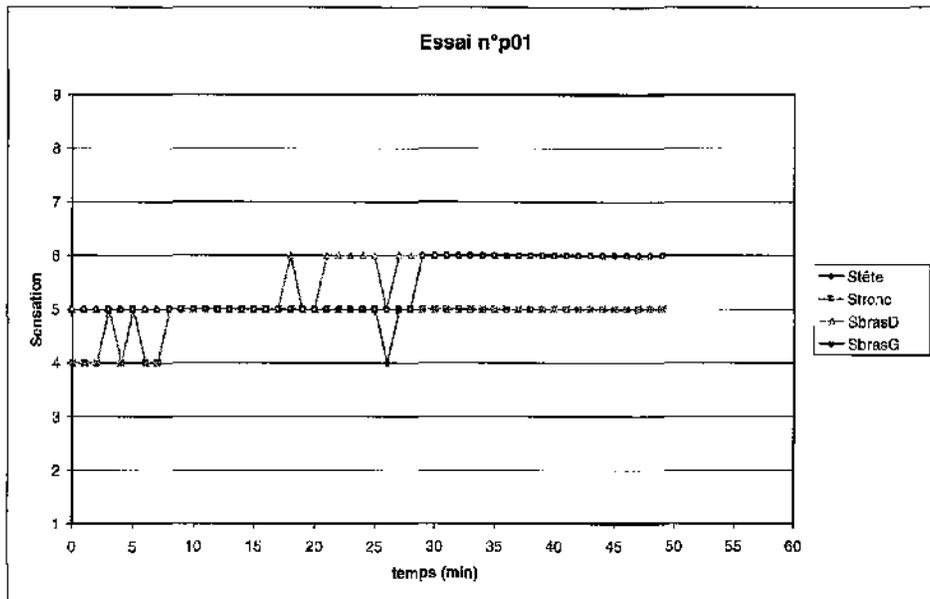


Graph 13 : Températures de peau simulées (tête, tronc et bras)

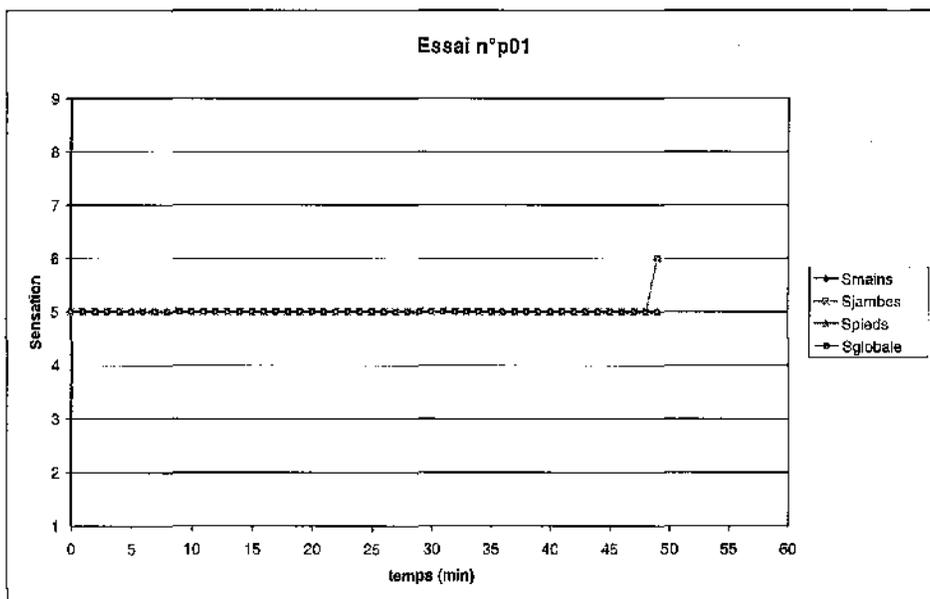


Graph 14 : Températures de peau simulées (mains, jambes, pieds et globales)

Si on regarde les sensations, on voit que l'entrée dans le véhicule ne fait pas chuter les sensations. Il est vrai que la température de peau des segments diminue mais, comme le calcul de la sensation est aussi basé sur la température de l'air inhalé, celle-ci prend le dessus car elle est plus élevée que pour les essais classiques. En fait, pour toutes les simulations avec préchauffage et durant tout l'essai, le conducteur est dans une situation de confort. Il faut quand même faire attention car la relation entre la température de l'habitacle et la température de l'air inhalé (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°5) n'a pas été établie en condition chaude. On risque d'avoir un peu surestimé la valeur de la température de l'air inhalé. Ceci peut expliquer que les sensations restent à cinq (et parfois six) même à la fin des essais malgré le refroidissement de l'habitacle.



Grphe 15 : Sensations simulées (tête, tronc et bras)



Grphe 16 : Sensations simulées (mains, jambes, pieds et globales)

CONCLUSIONS

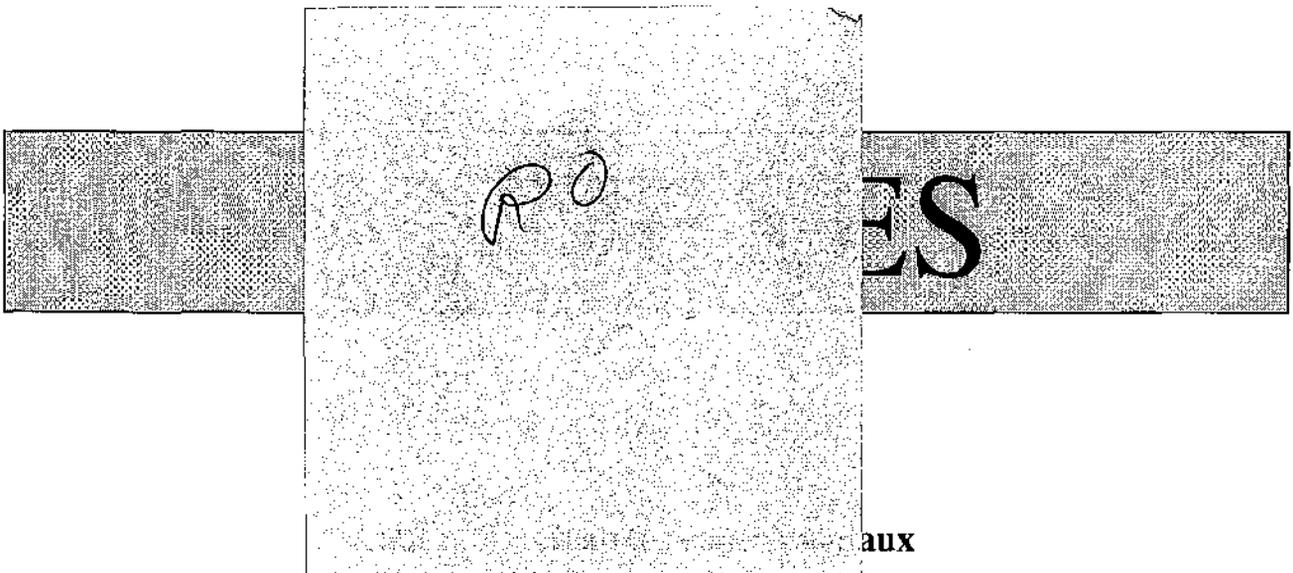
Les simulations de tous les essais de l'hiver 1998 ont été présentées. Il faut maintenant comparer ces résultats avec les sensations relevées lors des expériences par le LAA.

Même s'il reste un doute sur les vitesses d'air à utiliser et sur la relation entre la température mesurée dans l'habitacle et la température de l'air inhalé, nous pouvons quand même porter un jugement sur le mode de chauffage utilisé. Les solutions envisagées n'ont pas toutes été parfaitement réalisées dans la 106 électrique. Si les surfaces chauffées ont bien fonctionné, le dispositif permettant de chauffer l'air proche de la tête du conducteur (et aussi proche des pieds) ne s'est pas avéré très souple. Il faudra prévoir d'autres solutions pour réchauffer la température de l'air inhalé.

Il est difficile d'acquérir des données physiques (températures, vitesses, etc...) lors d'expériences in-situ avec plusieurs personnes. Pourtant, le résultat des simulations dépend fortement de la précision des mesures. Ces résultats ont tendance à montrer que le système de chauffage adopté est au moins aussi efficace que celui utilisé jusqu'à présent. Il faut maintenant vérifier si cela a été ressenti de la même façon par les conducteurs.

Il faudra par ailleurs résoudre les conséquences problématiques de ce mode de chauffage :

- Absence de renouvellement d'air
- Apparition de buée sur les vitrages latéraux
- Consommation électrique non chiffrée

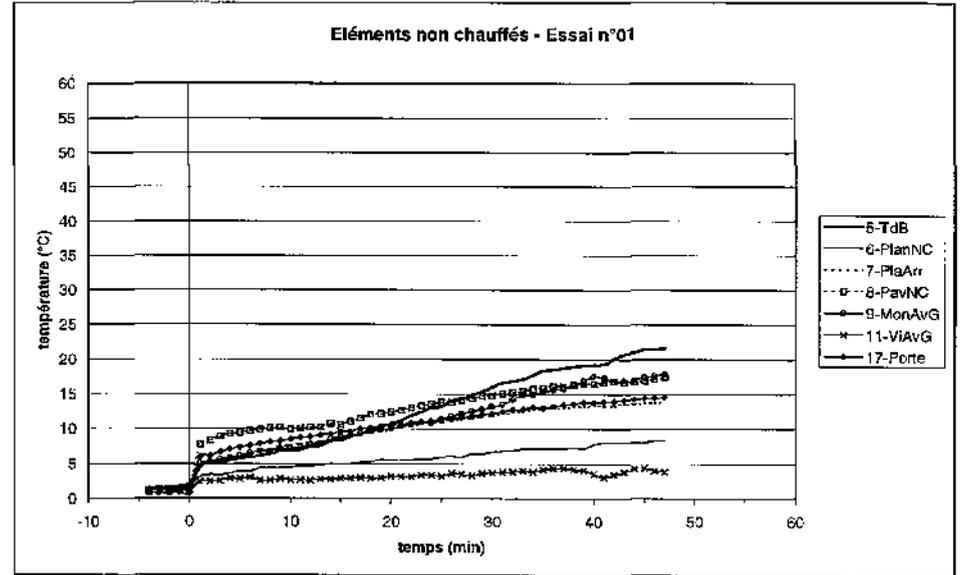
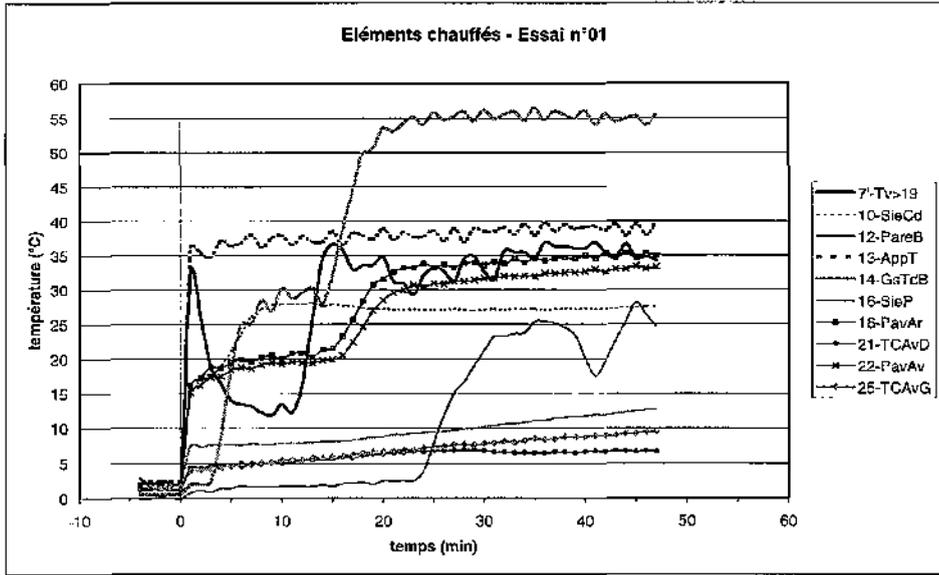
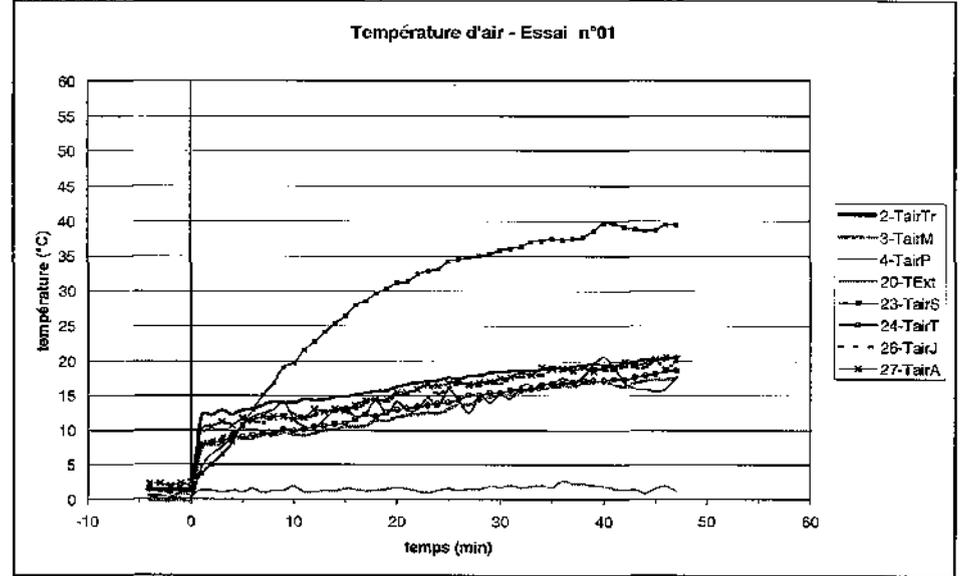
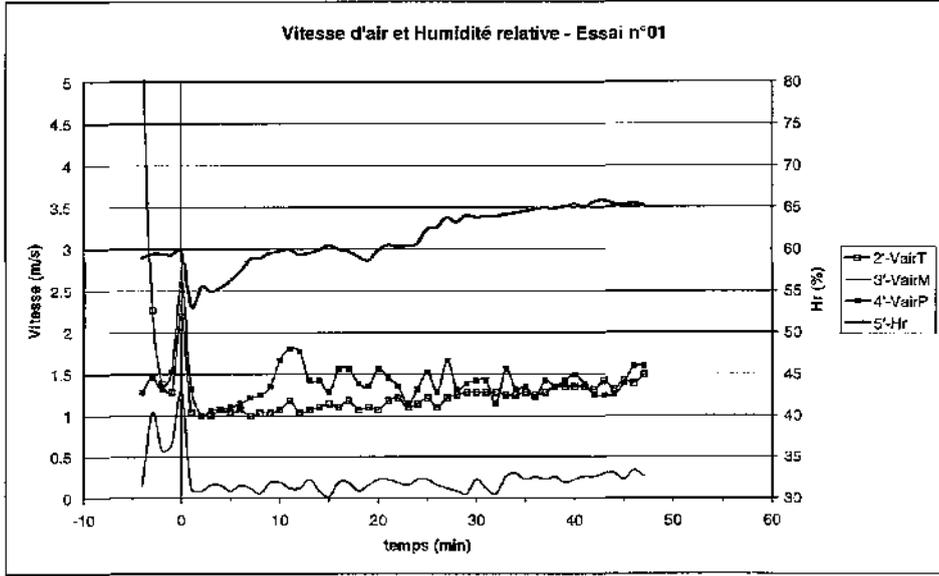


Annexe B : Résultats des simulations

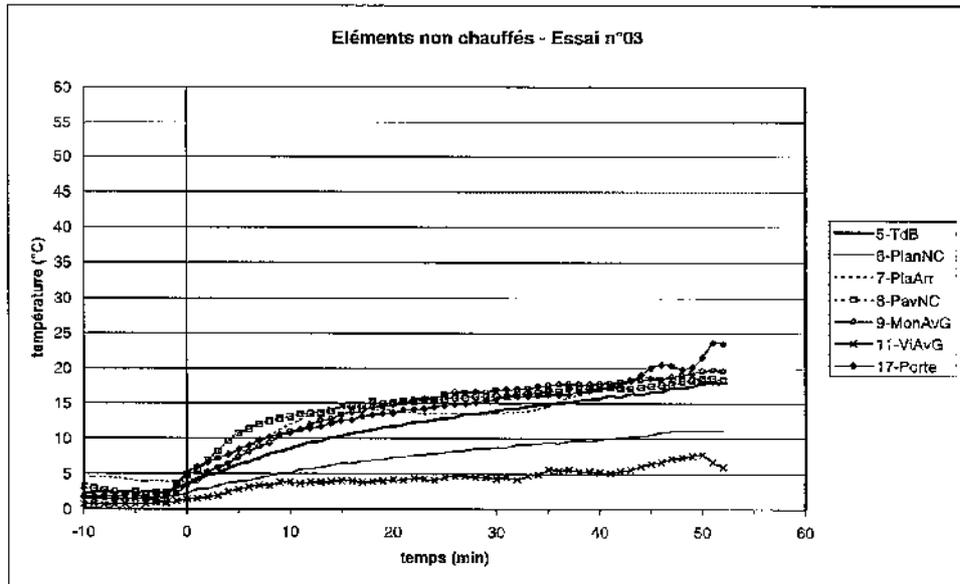
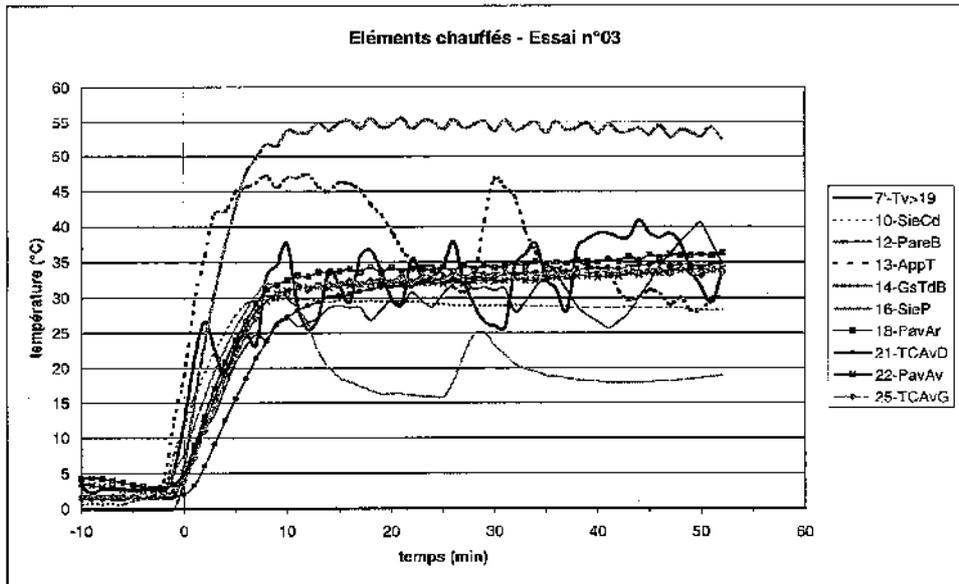
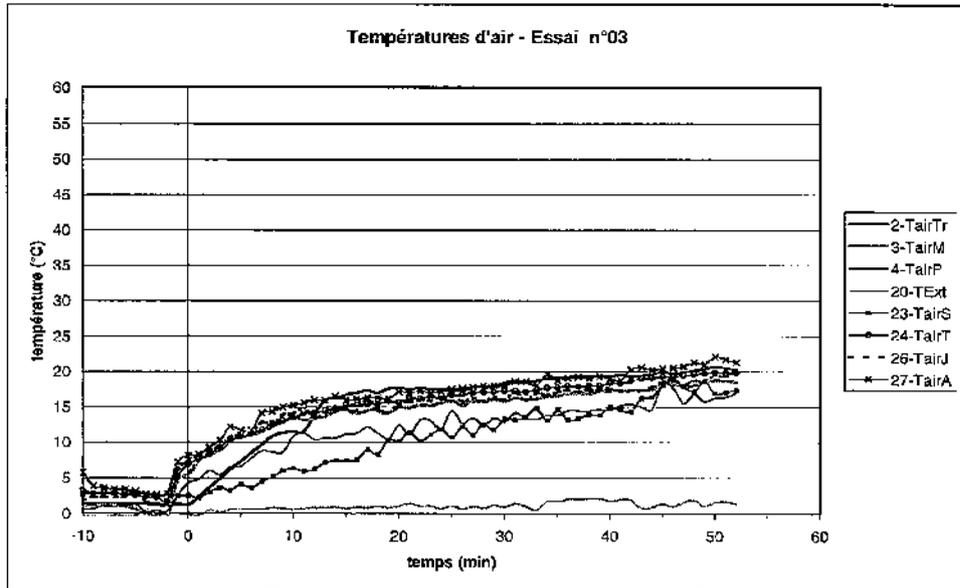
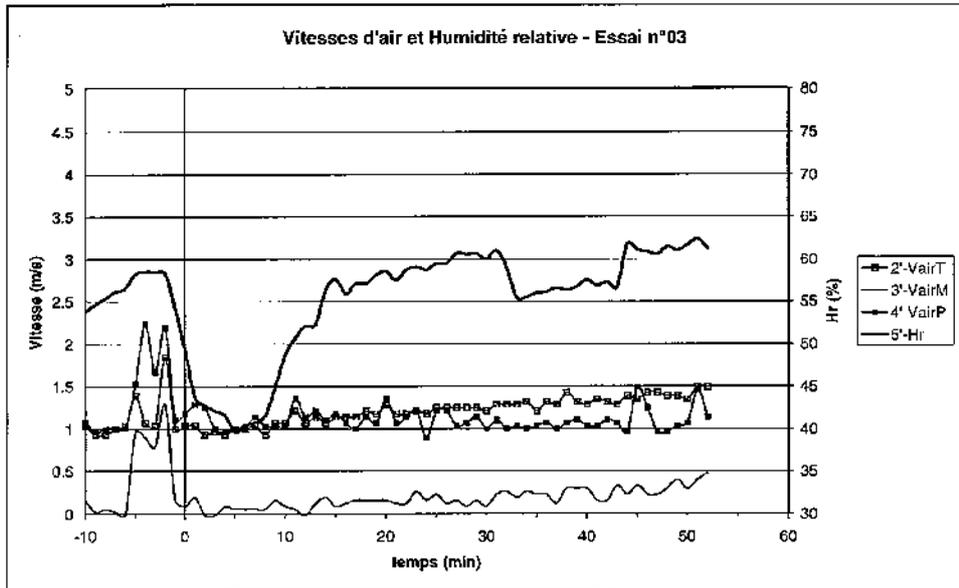
ANNEXE A

Graphes expérimentaux

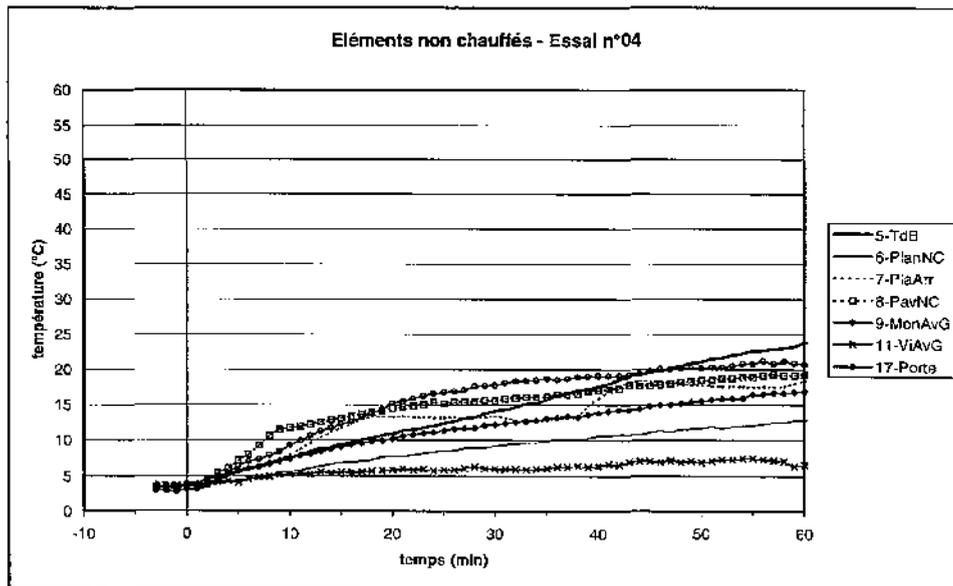
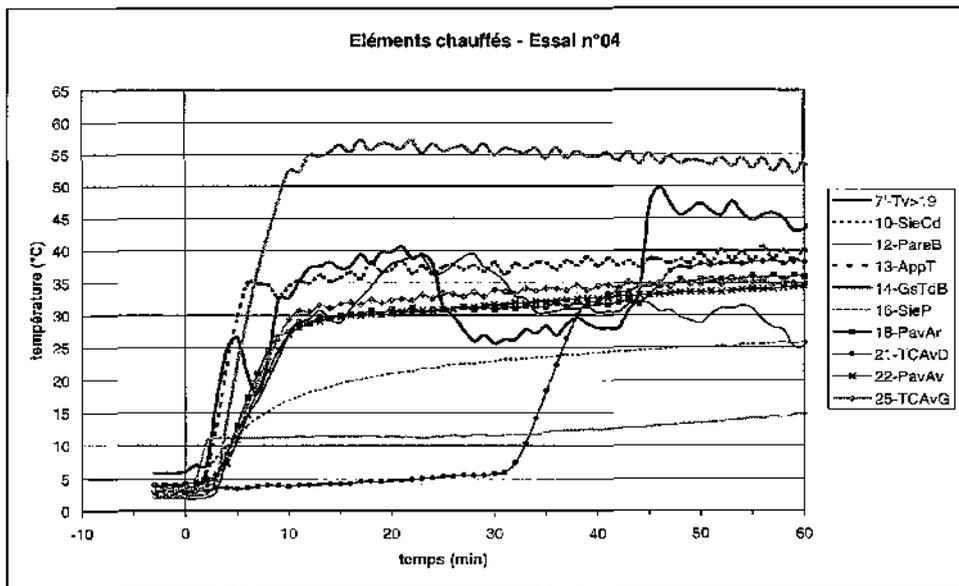
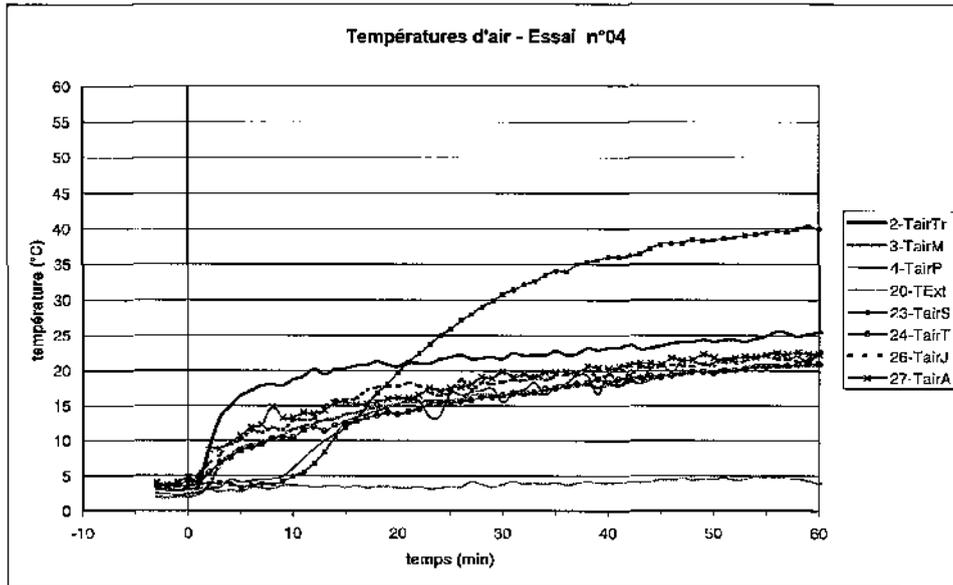
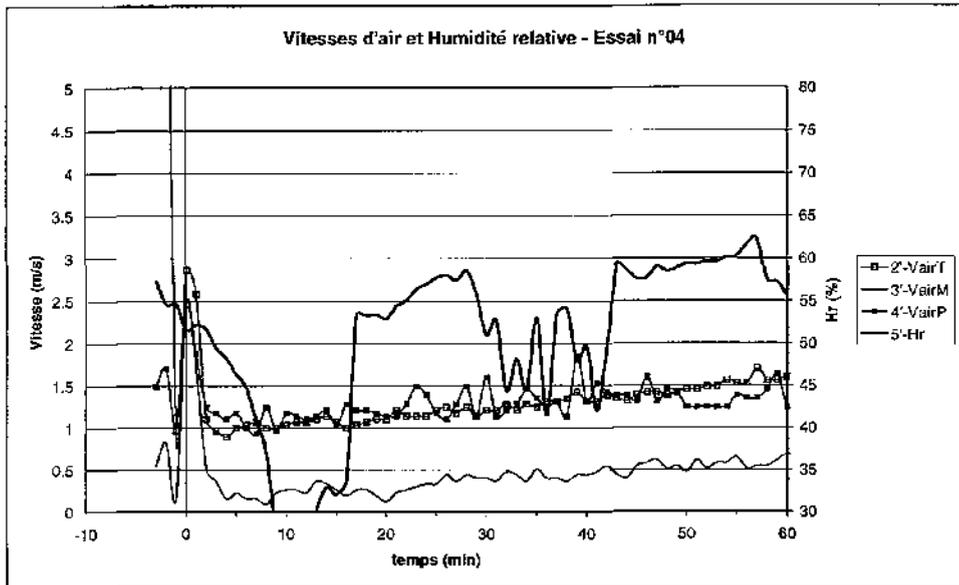
Essai n°1



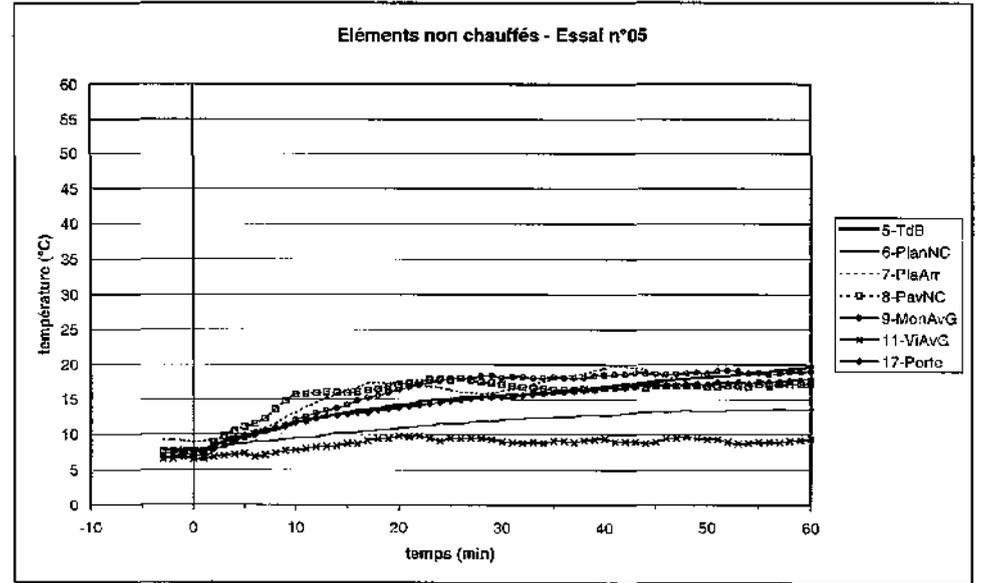
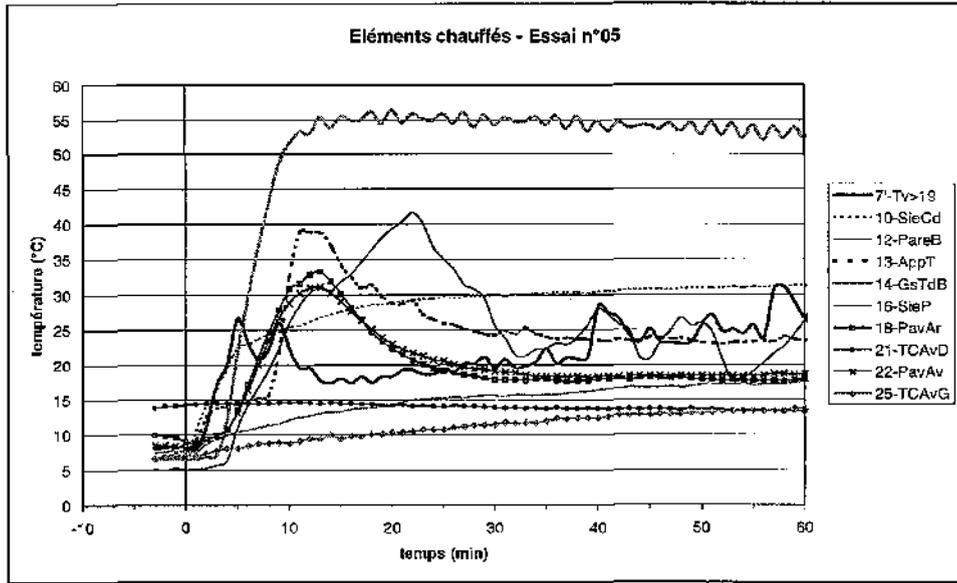
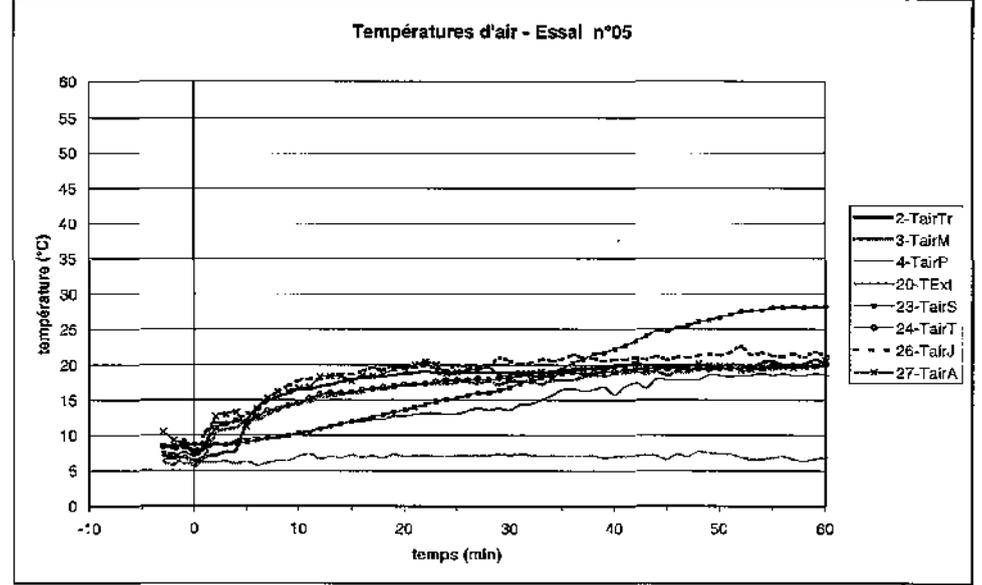
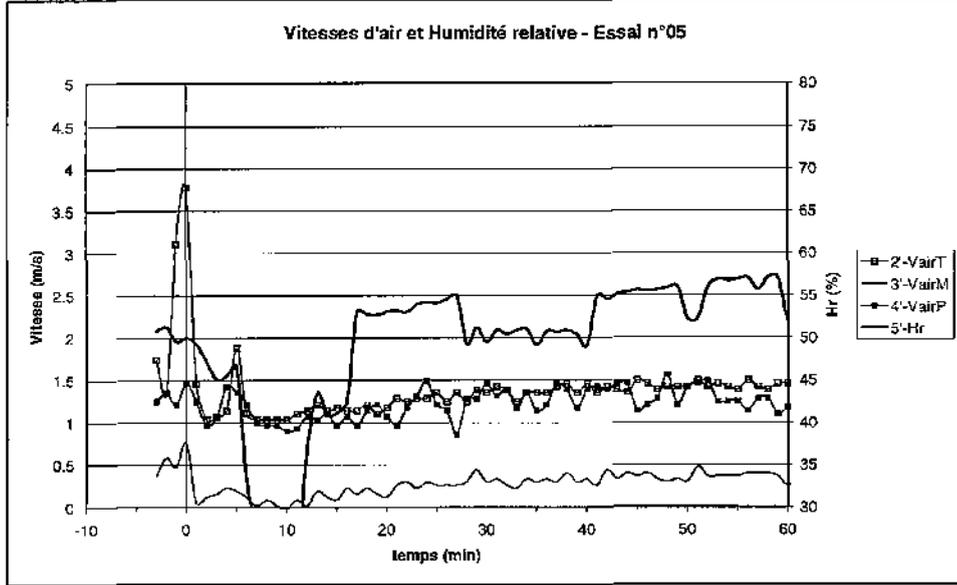
Essai n°3



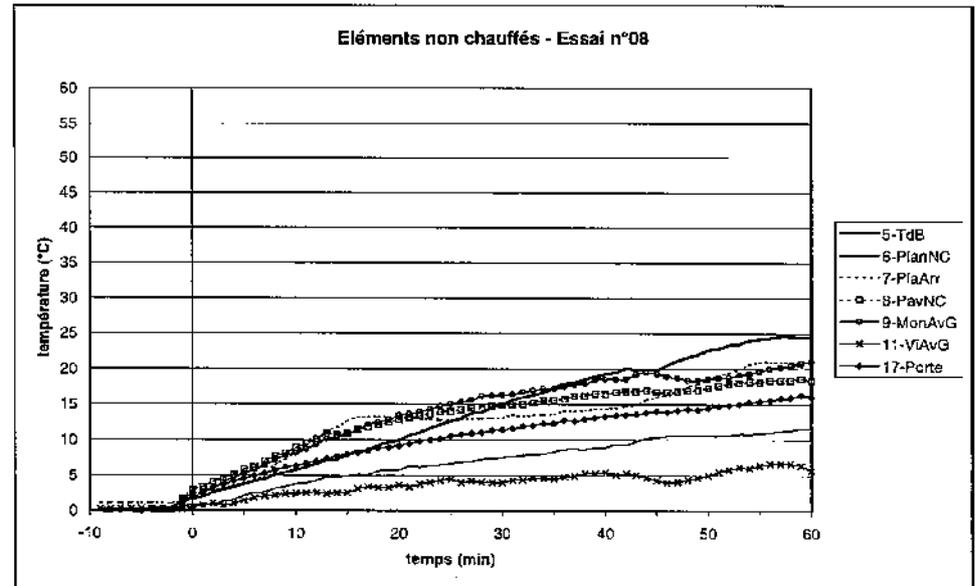
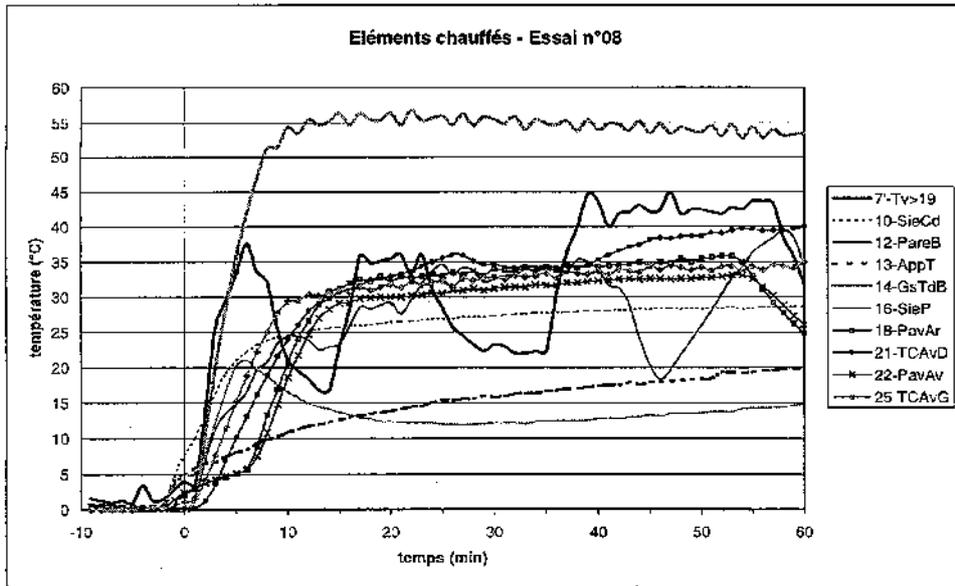
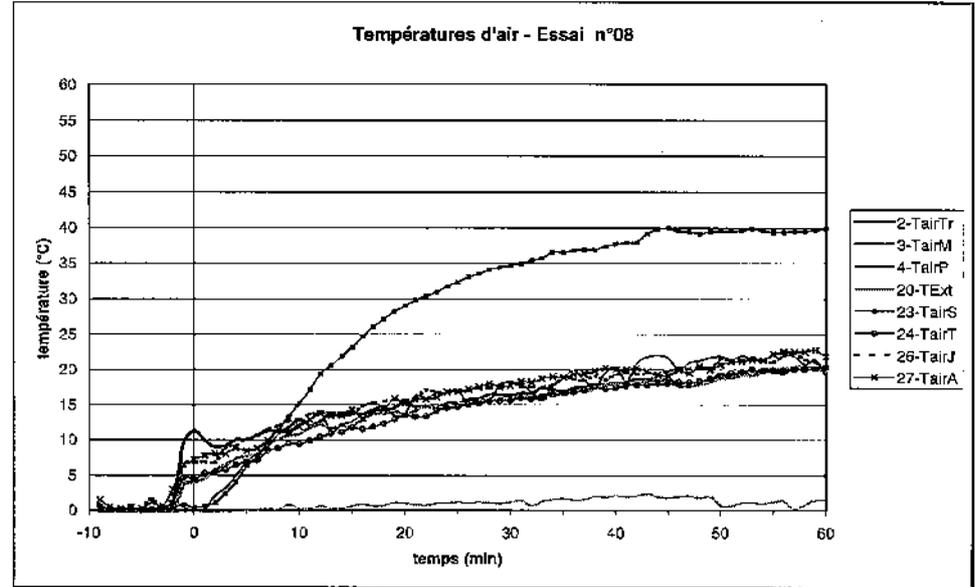
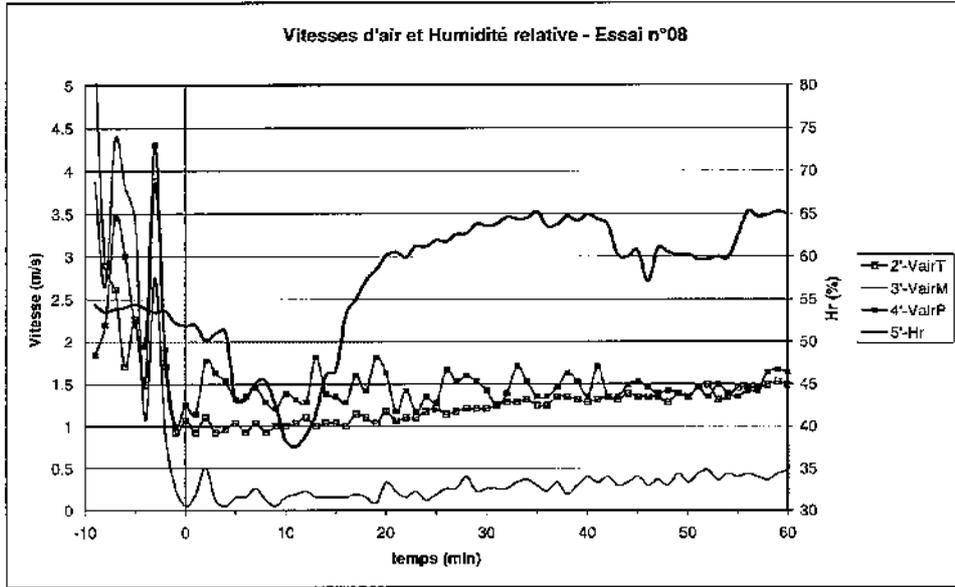
Essai n°4



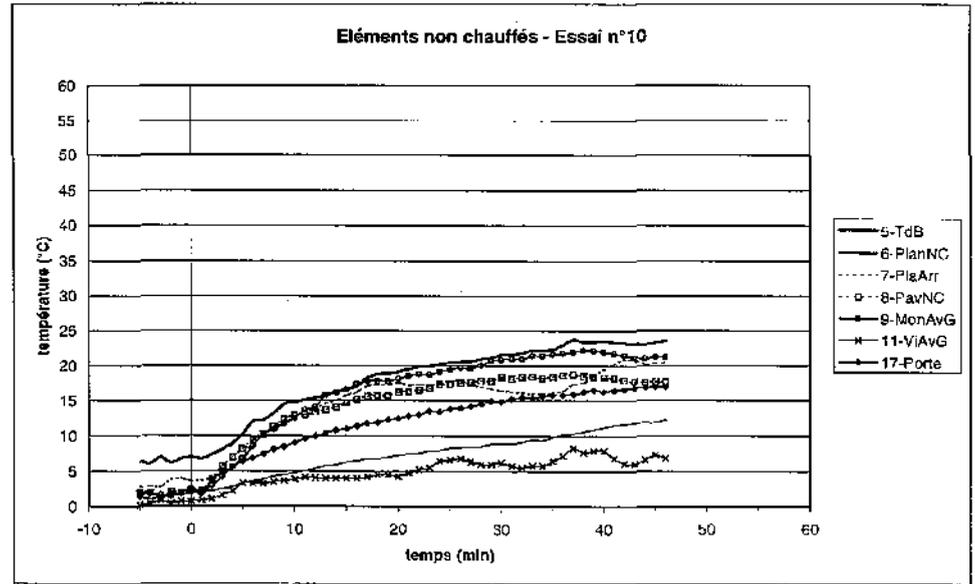
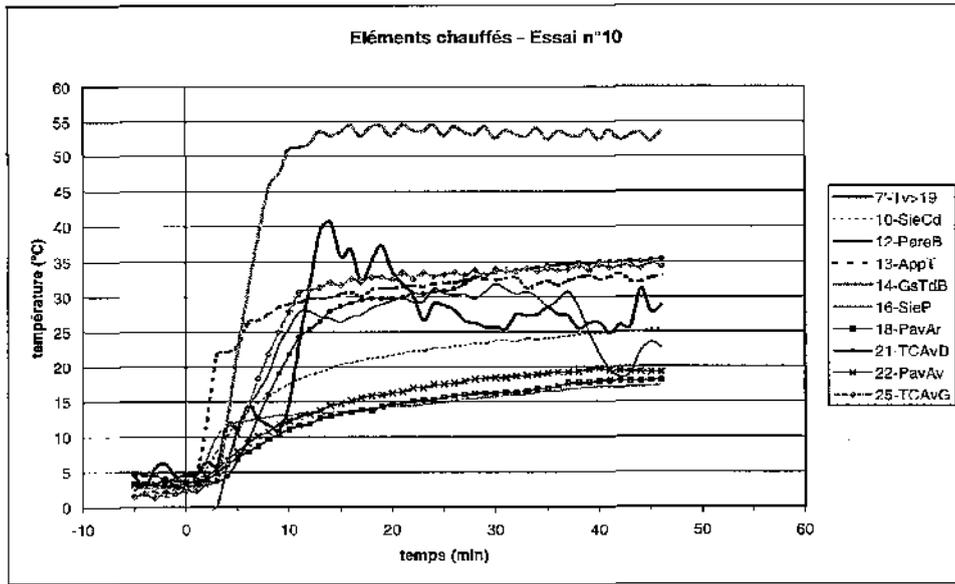
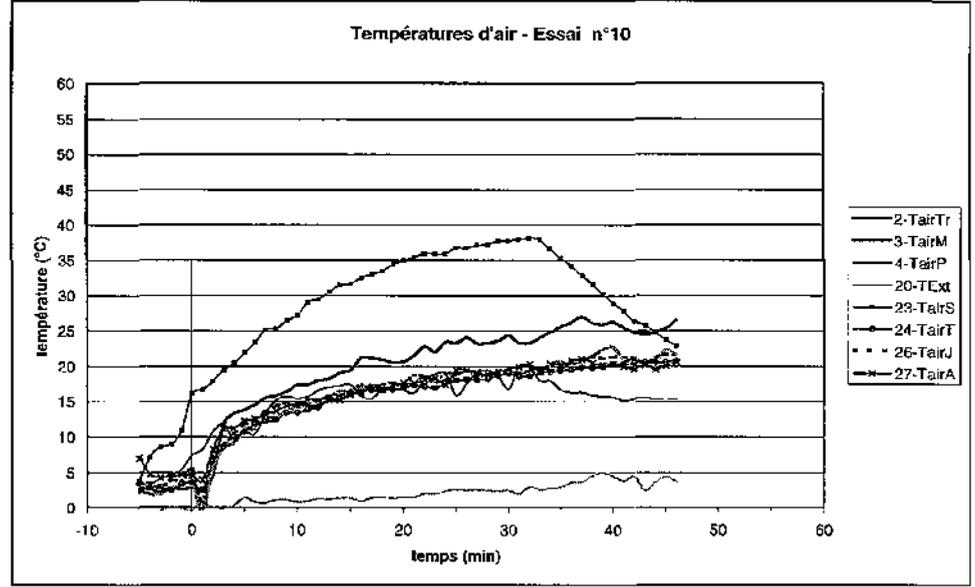
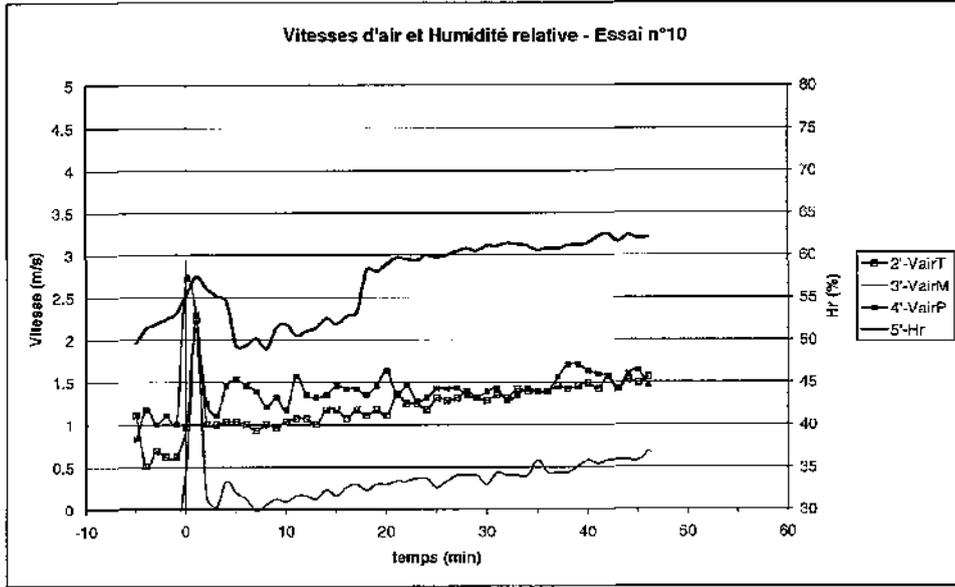
Essai n°5



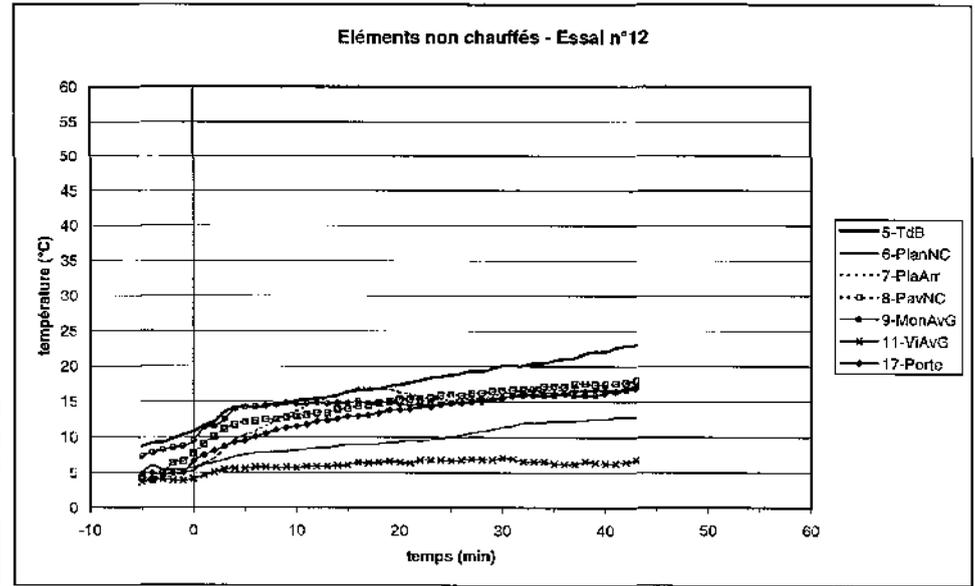
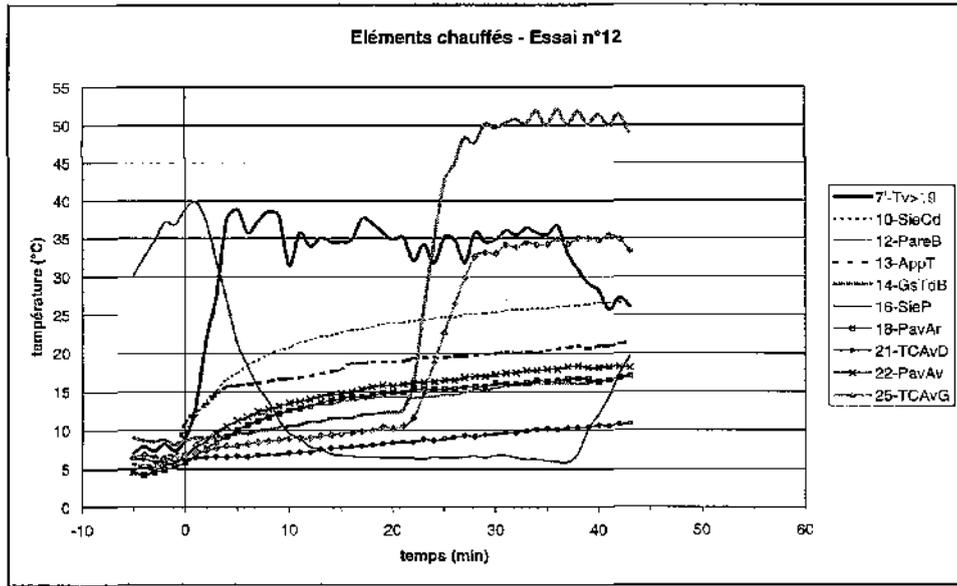
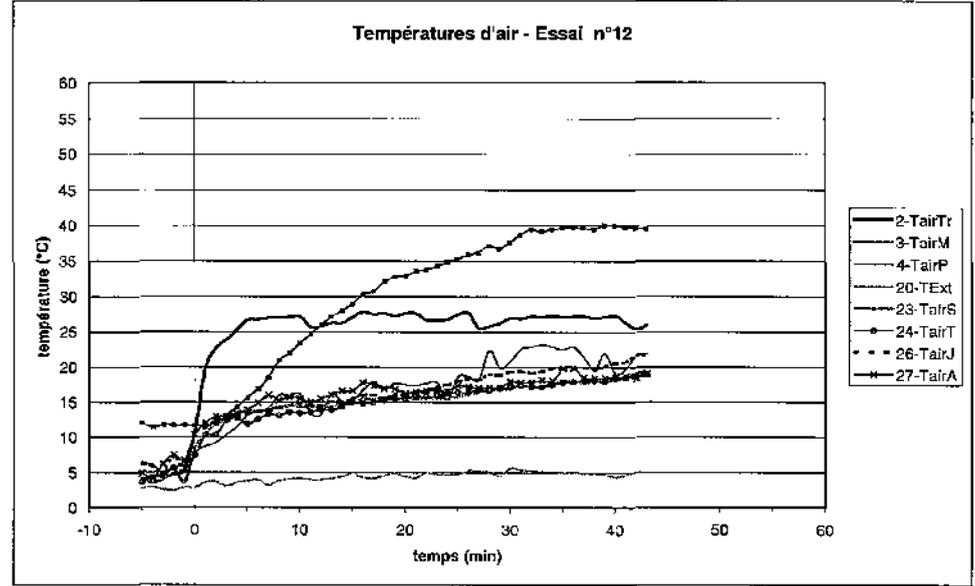
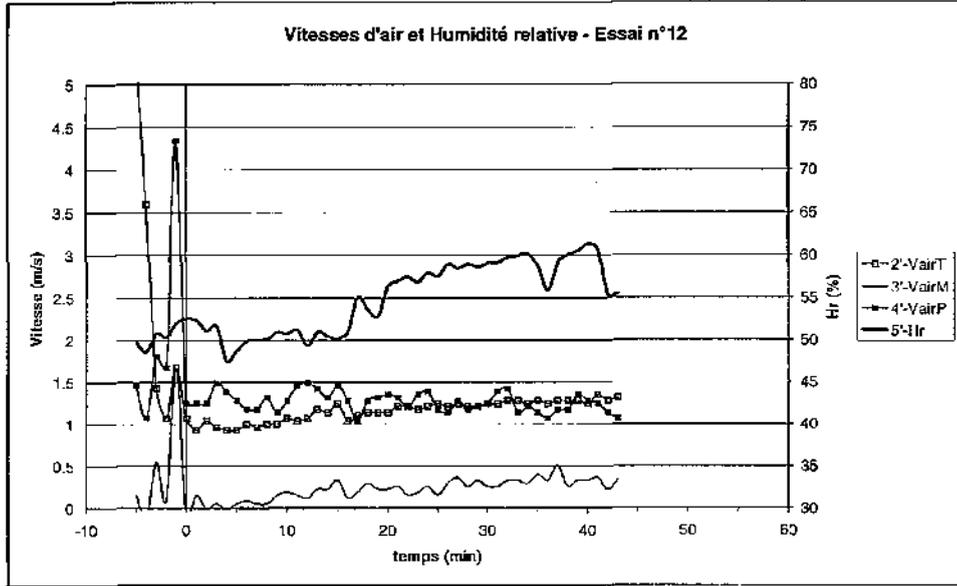
Essai n°8



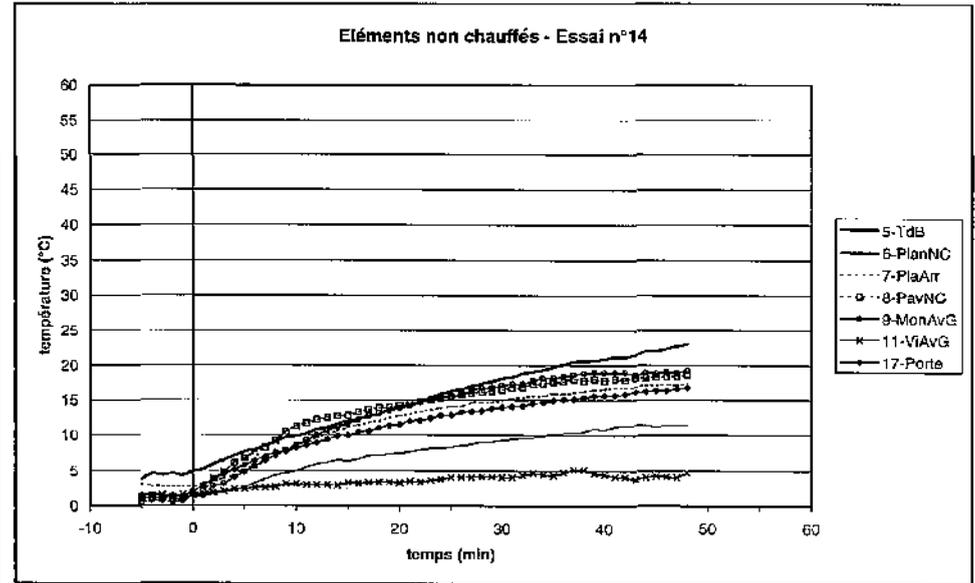
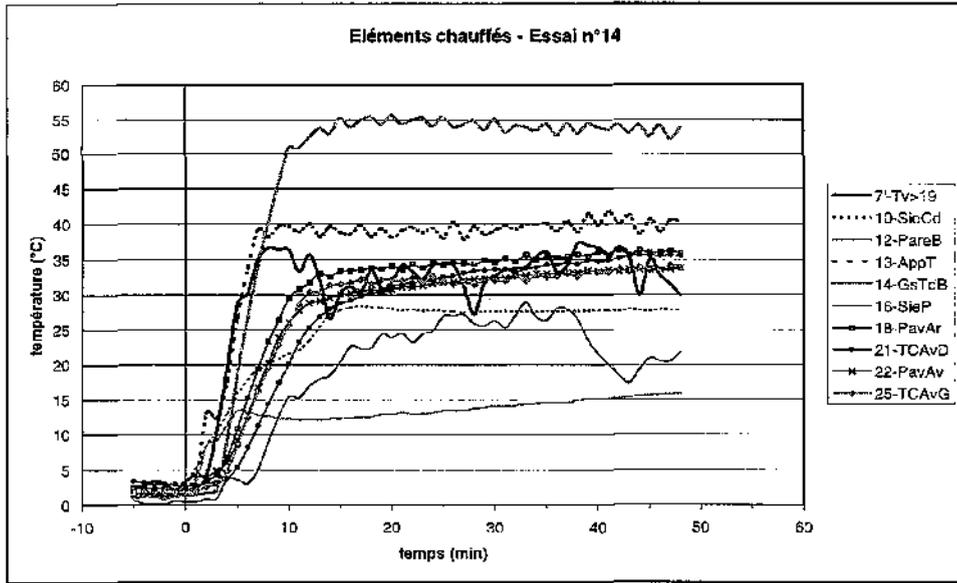
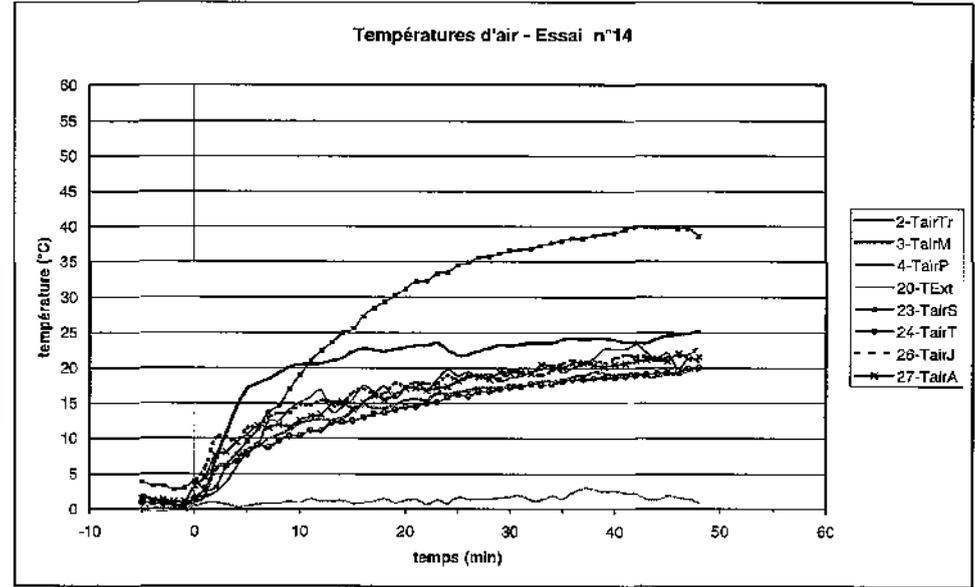
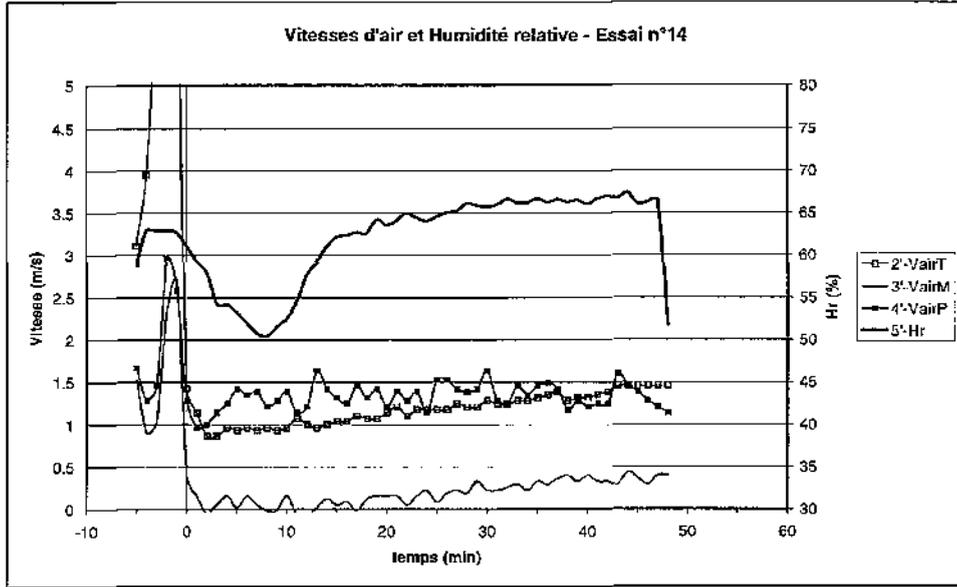
Essai n°10



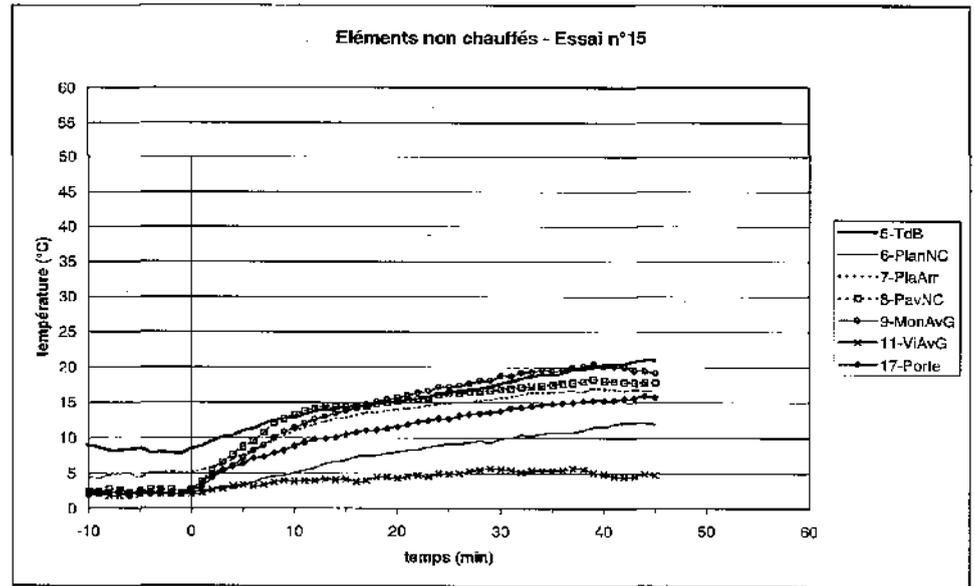
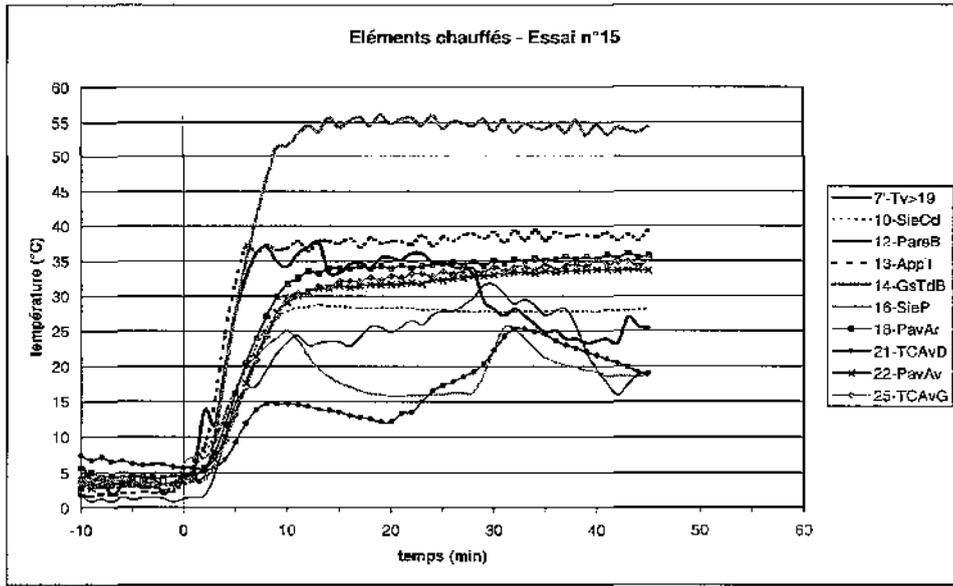
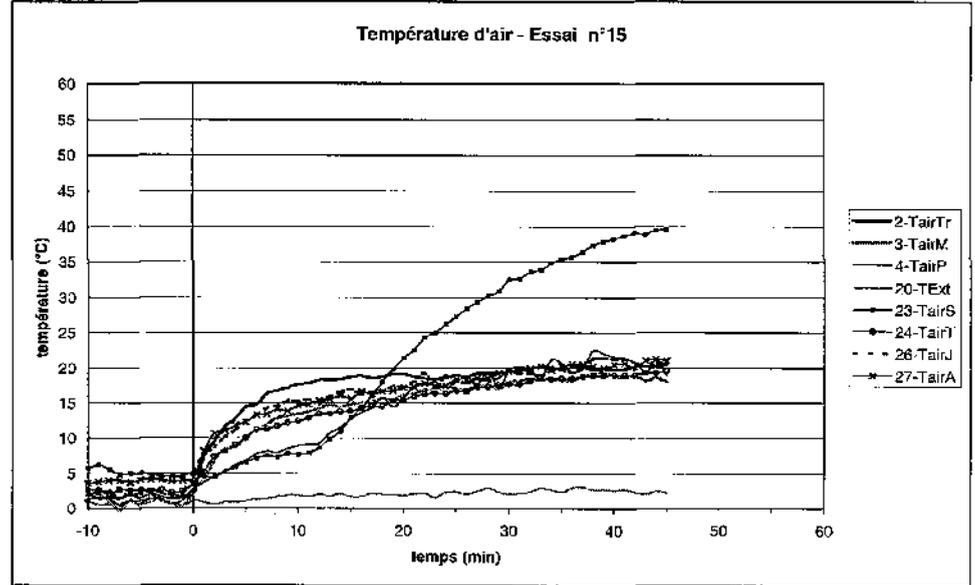
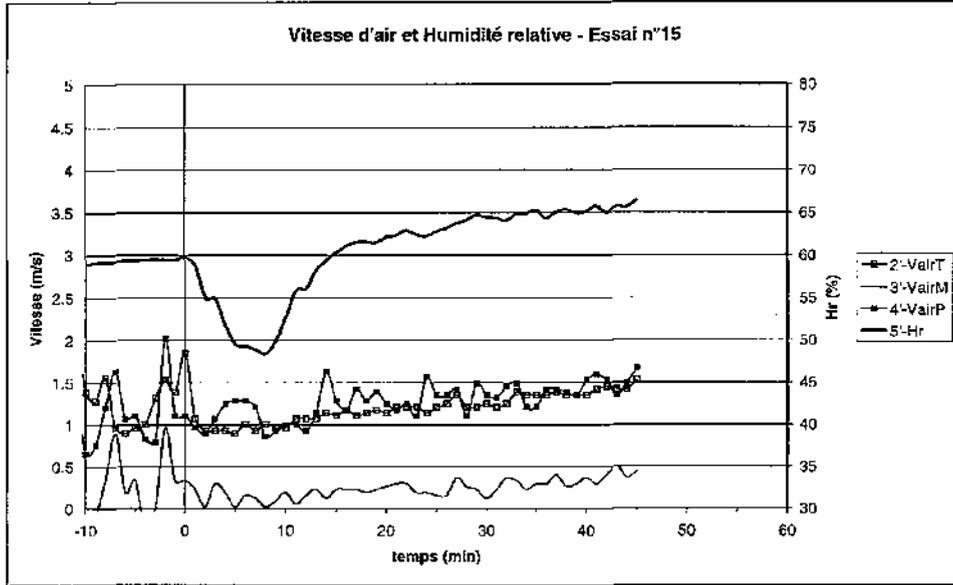
Essai n°12



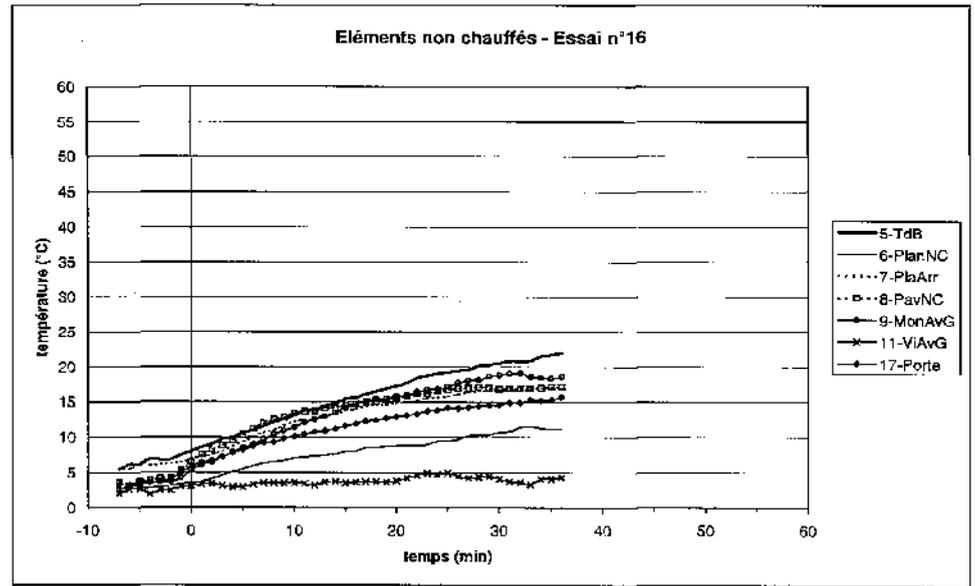
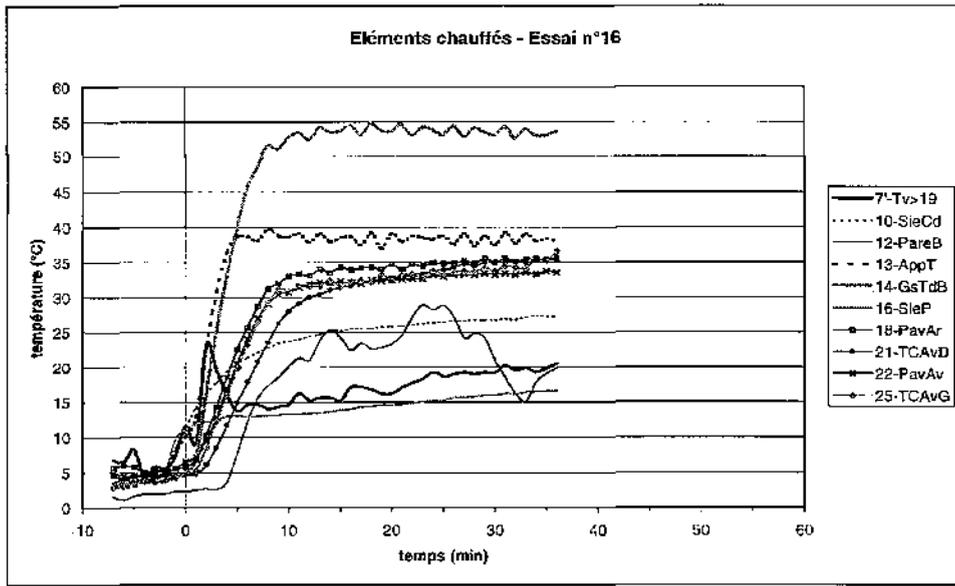
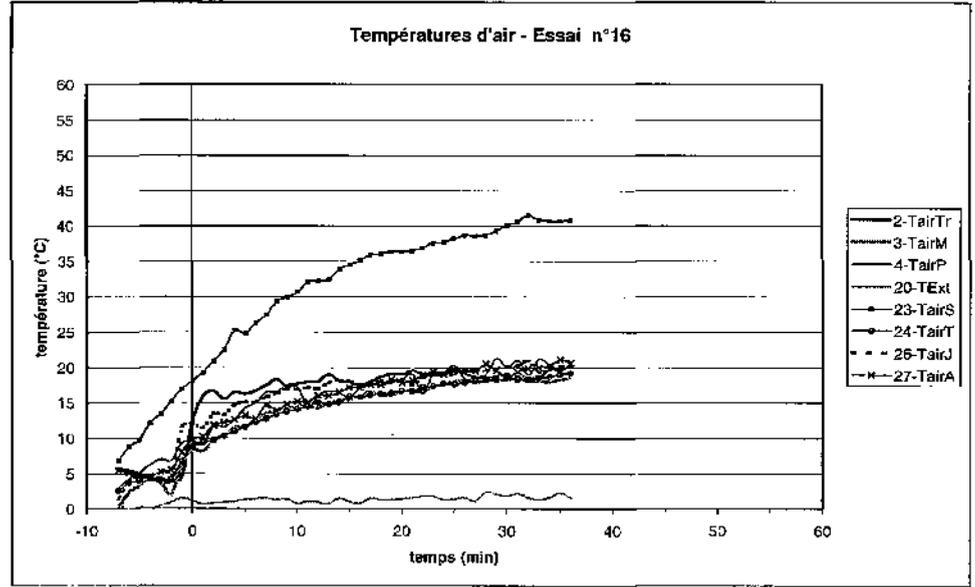
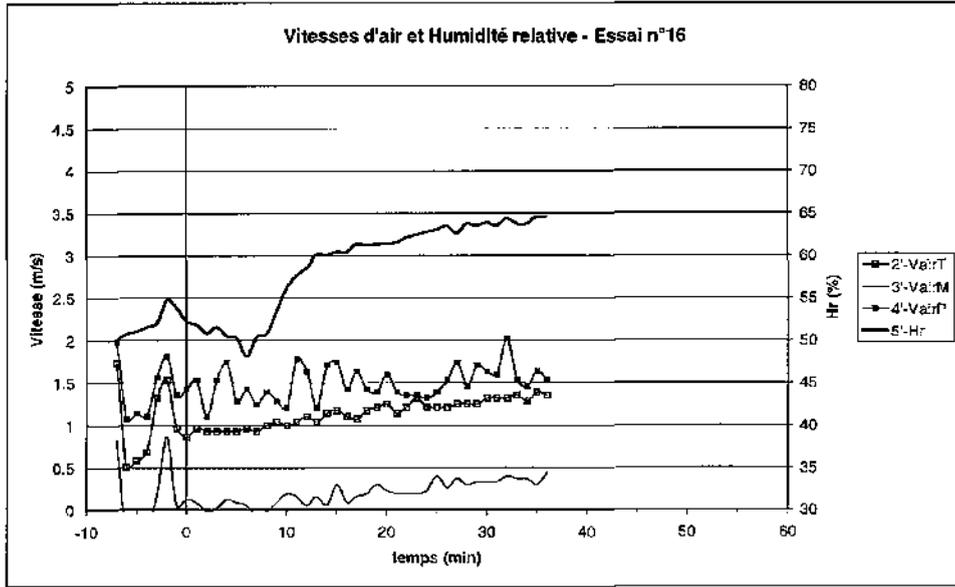
Essai n°14



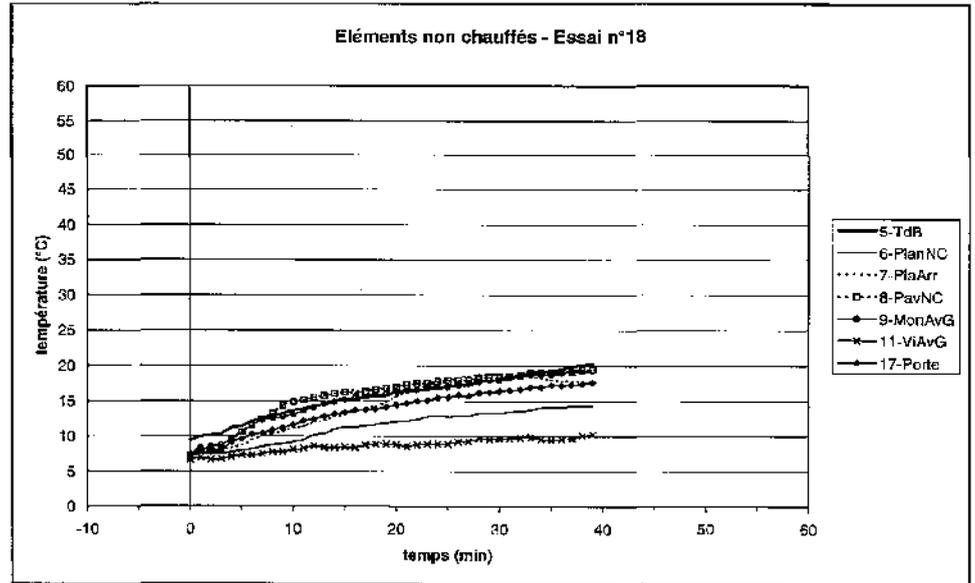
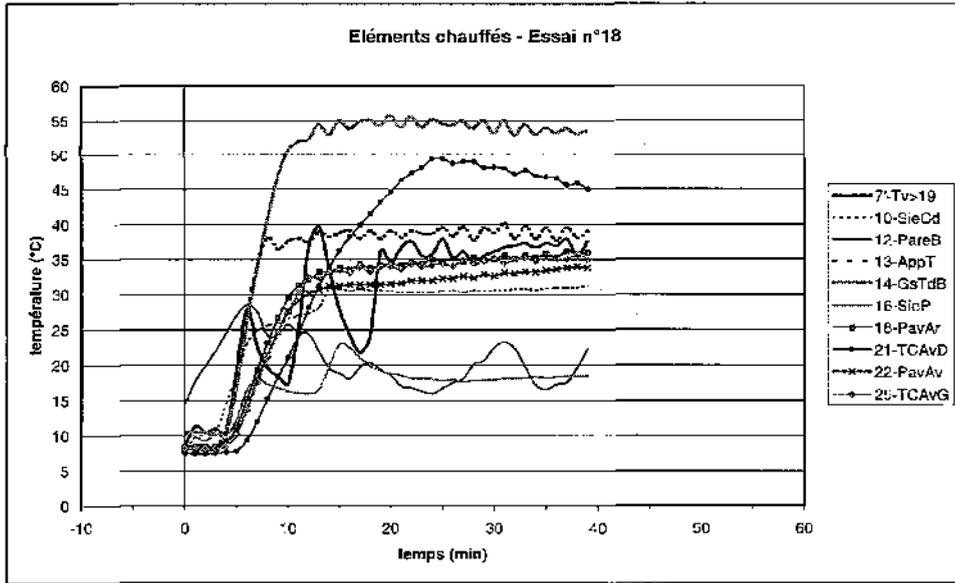
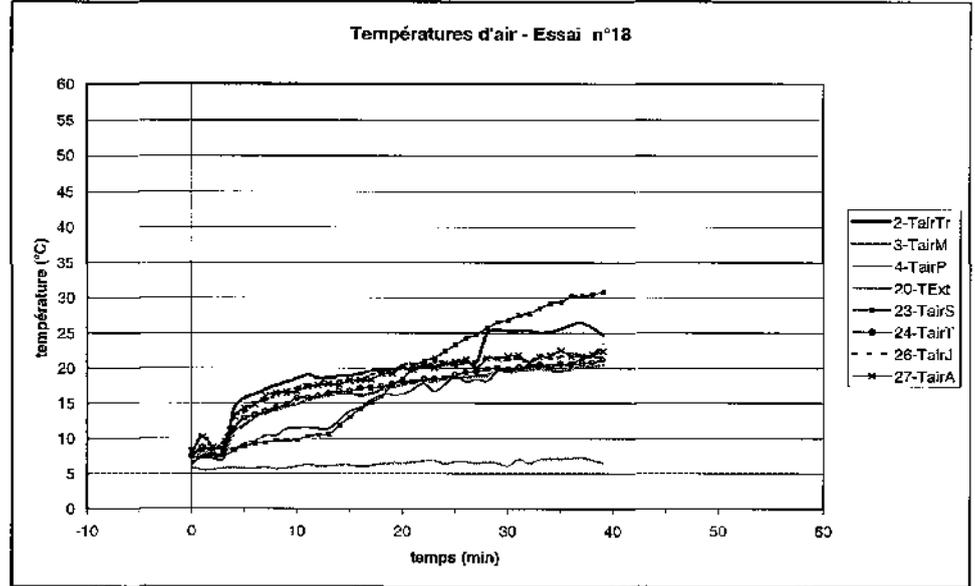
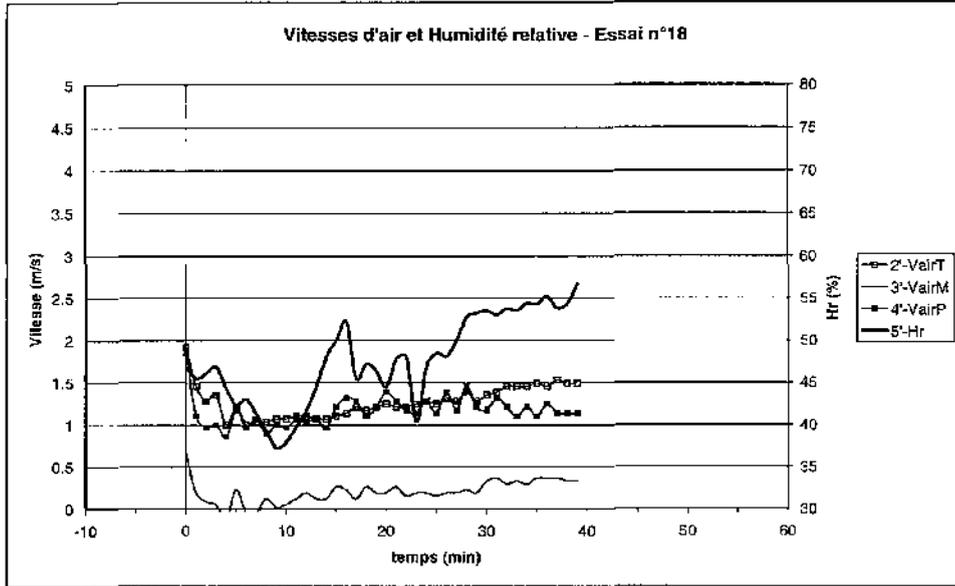
Essai n°15



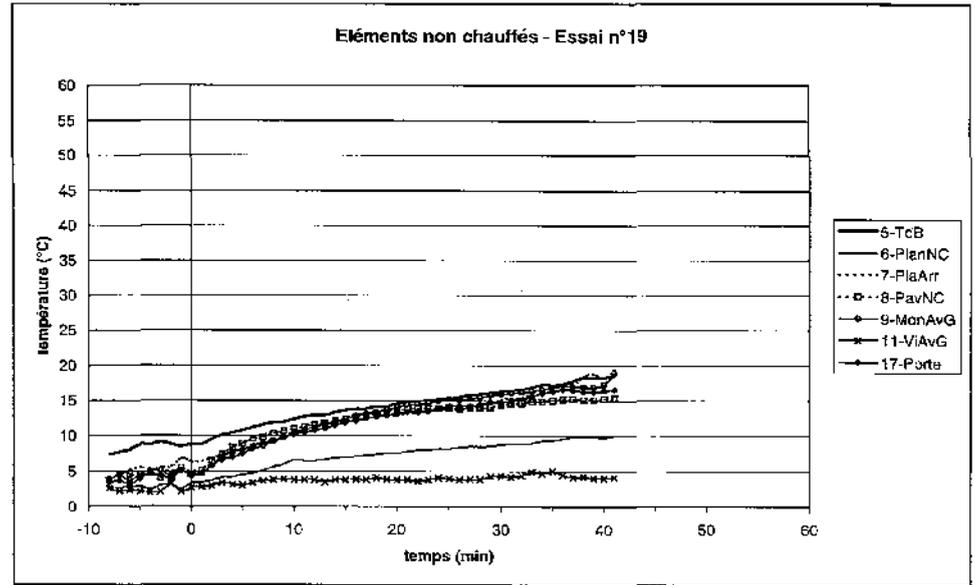
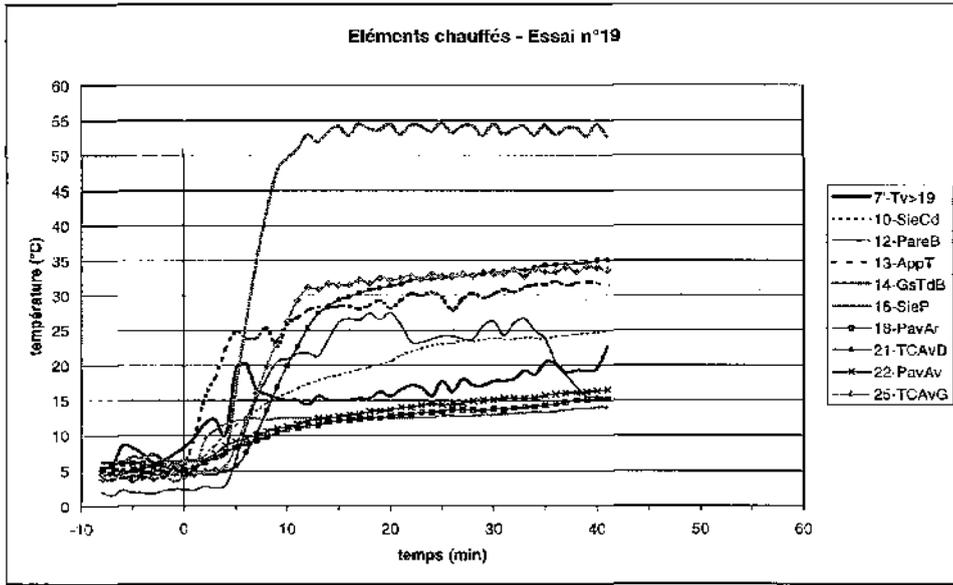
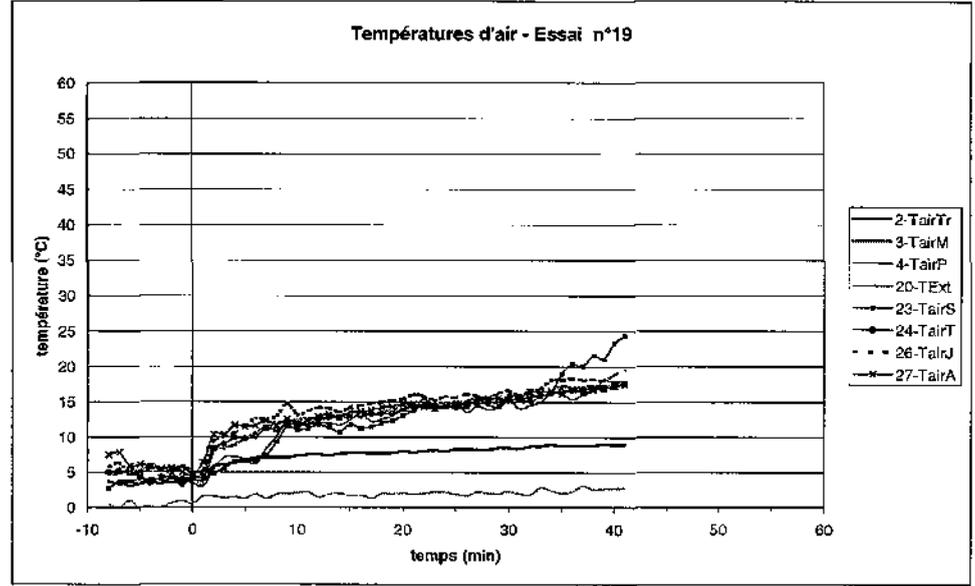
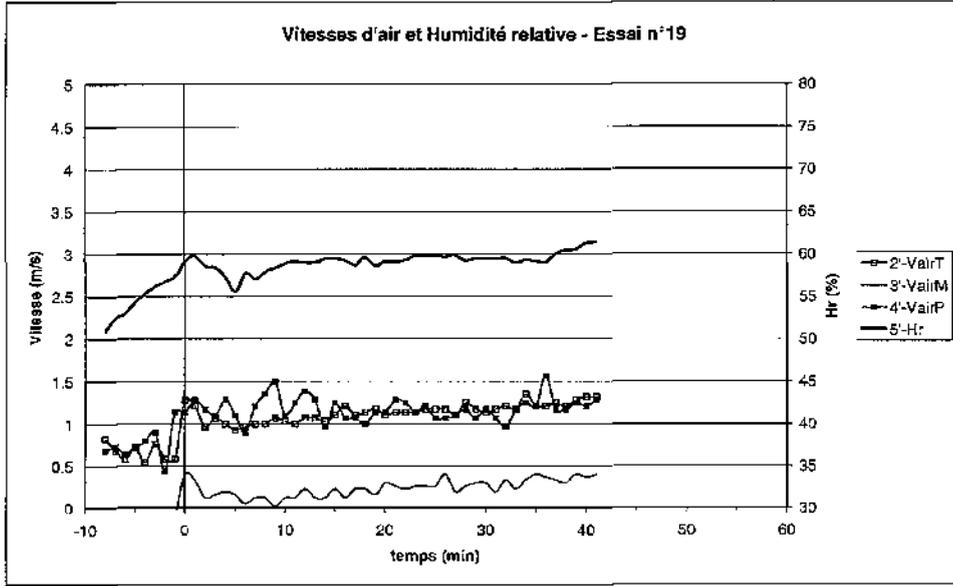
Essai n°16



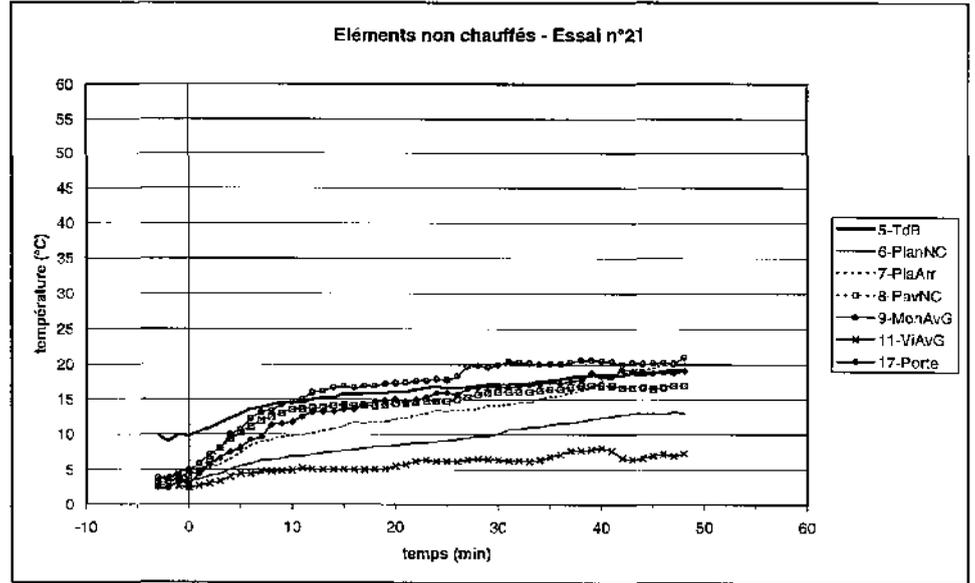
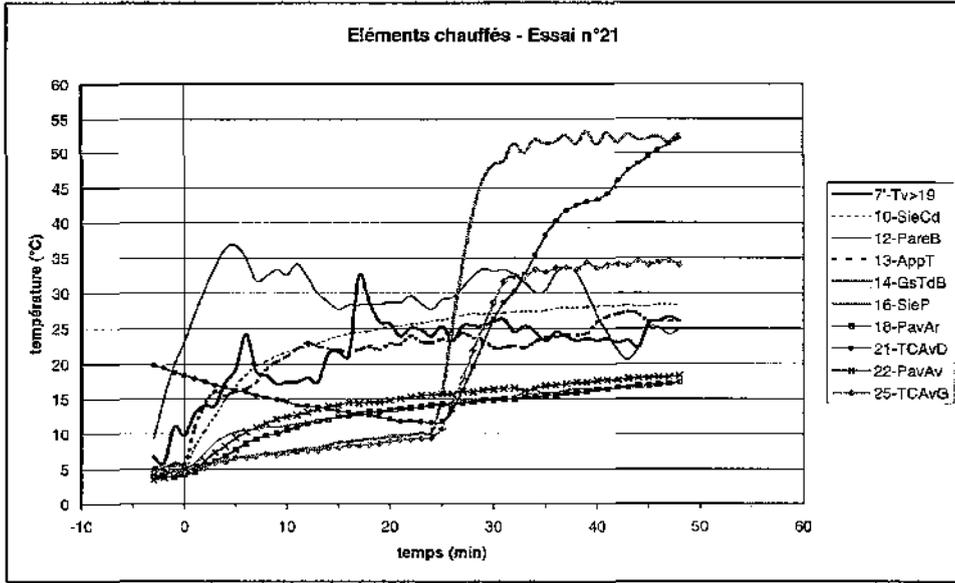
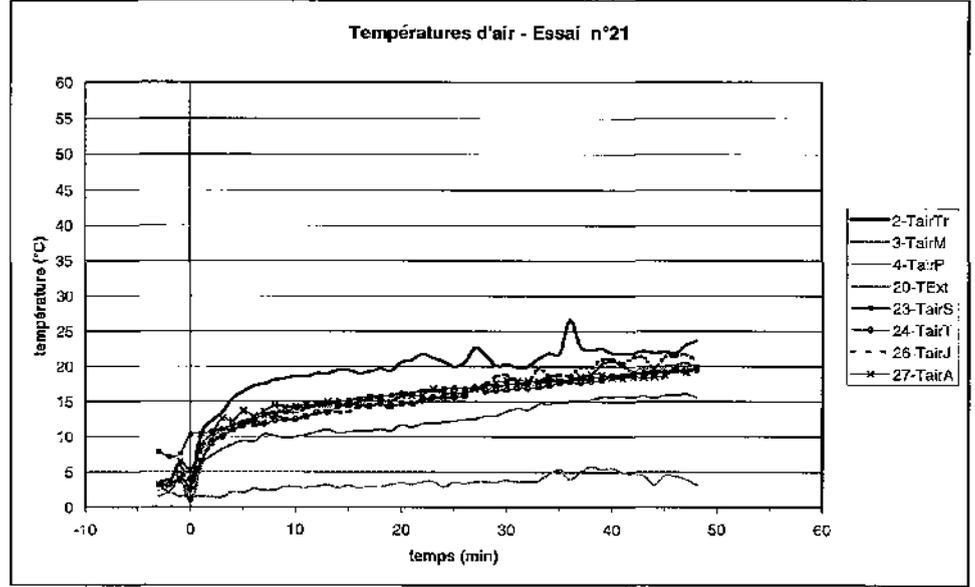
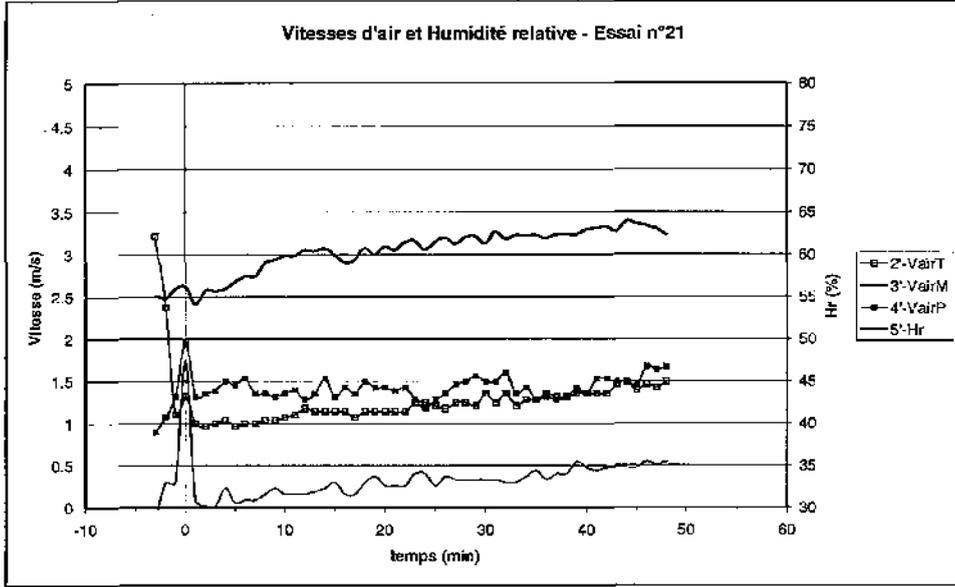
Essai n°18



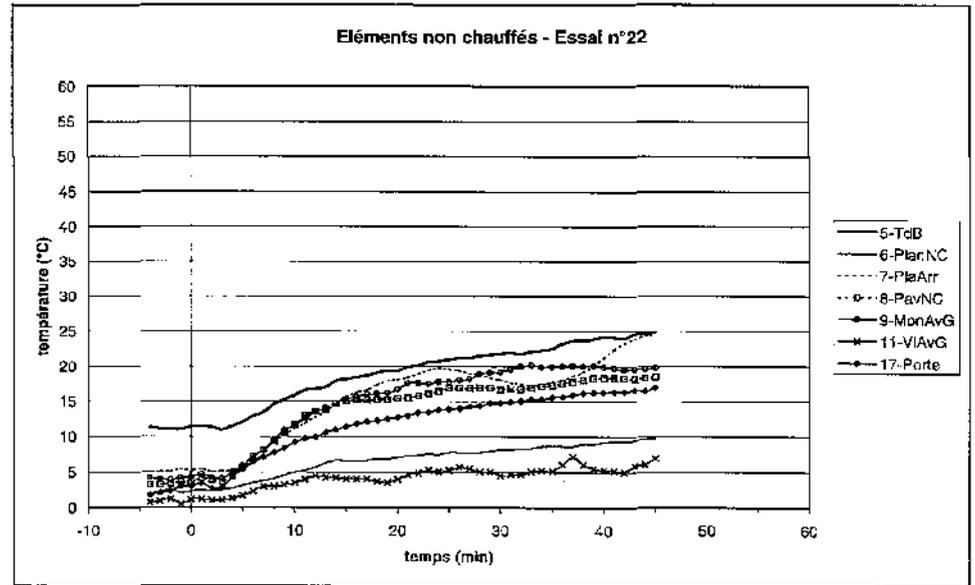
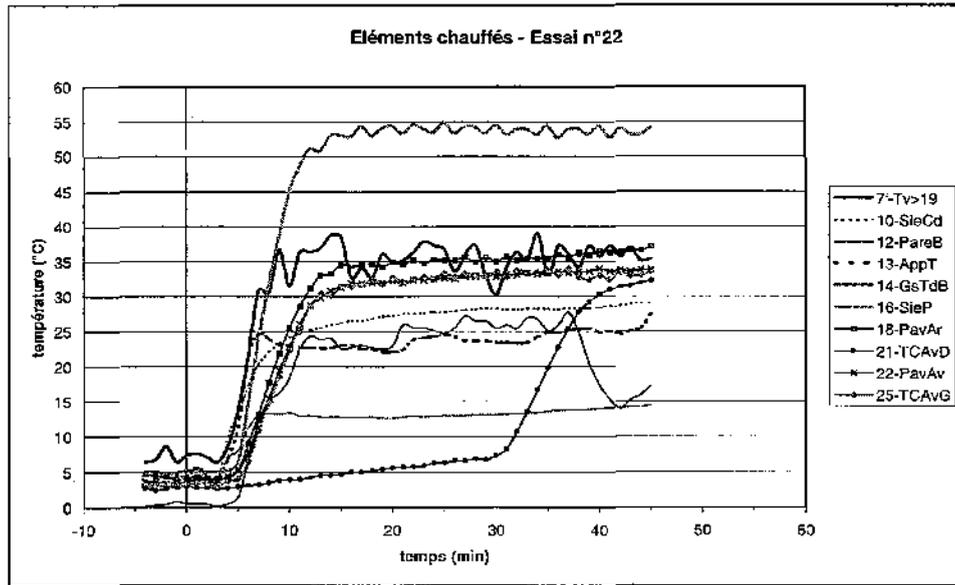
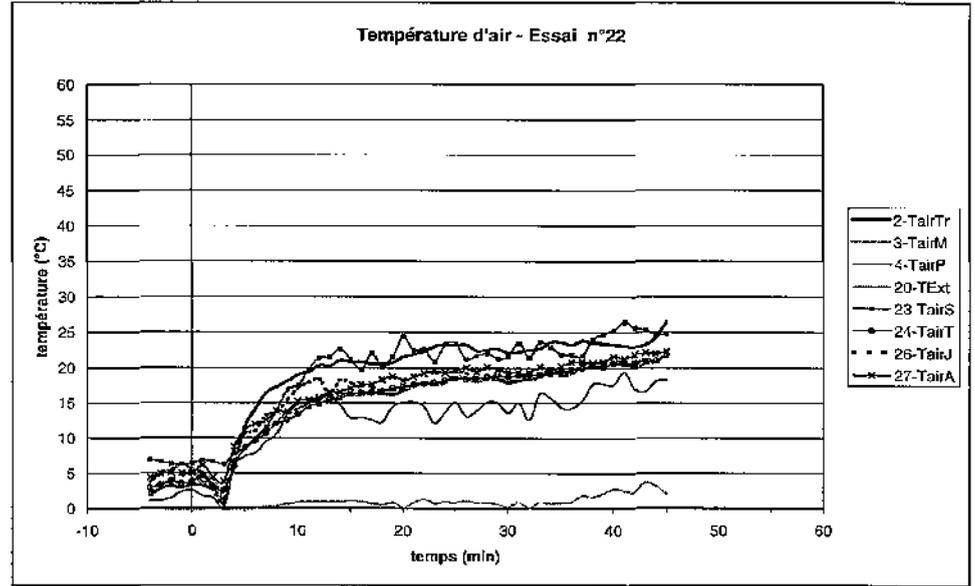
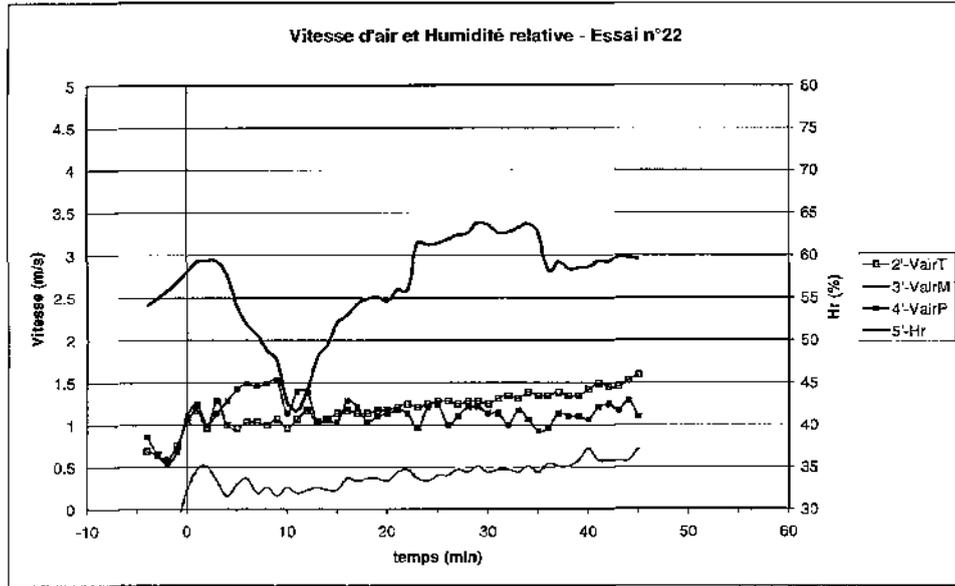
Essai n°19



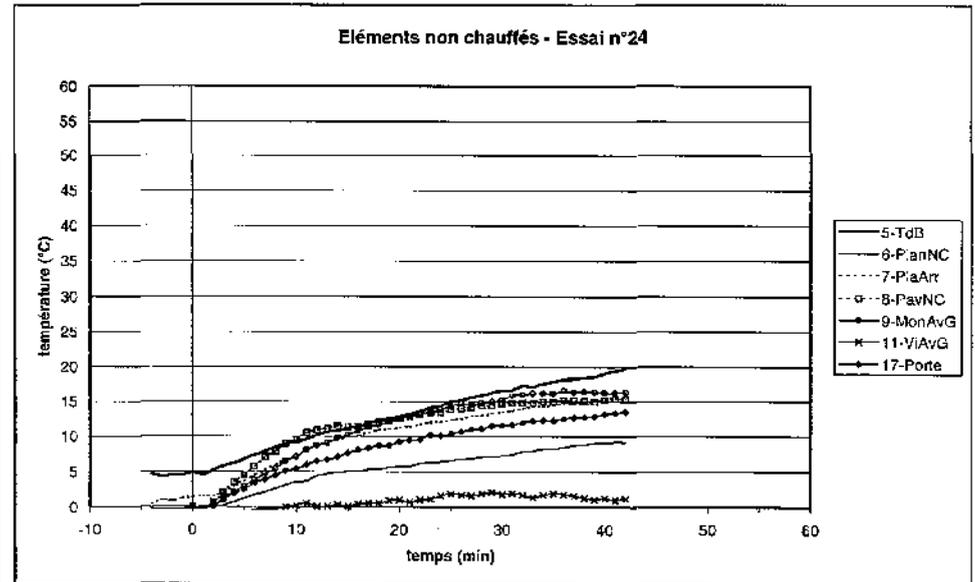
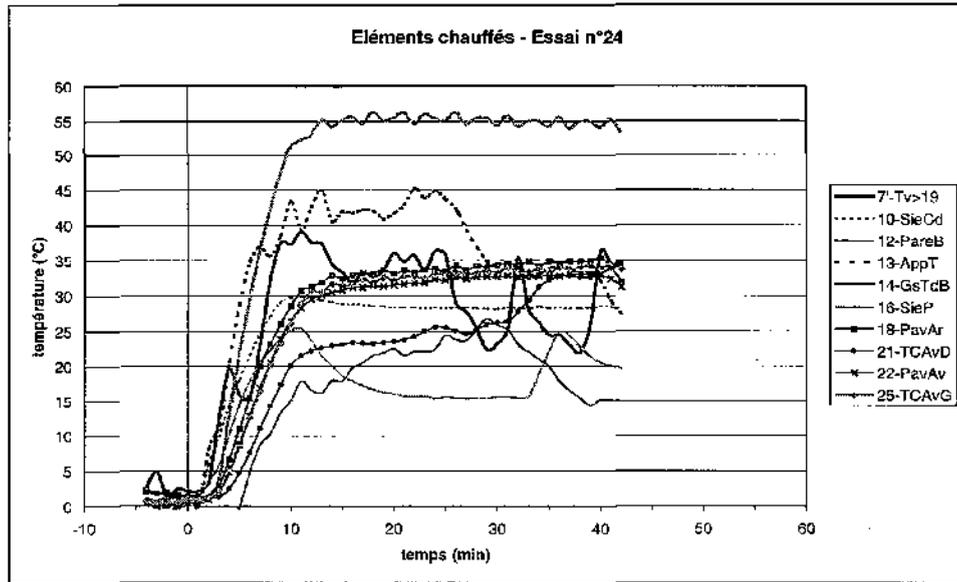
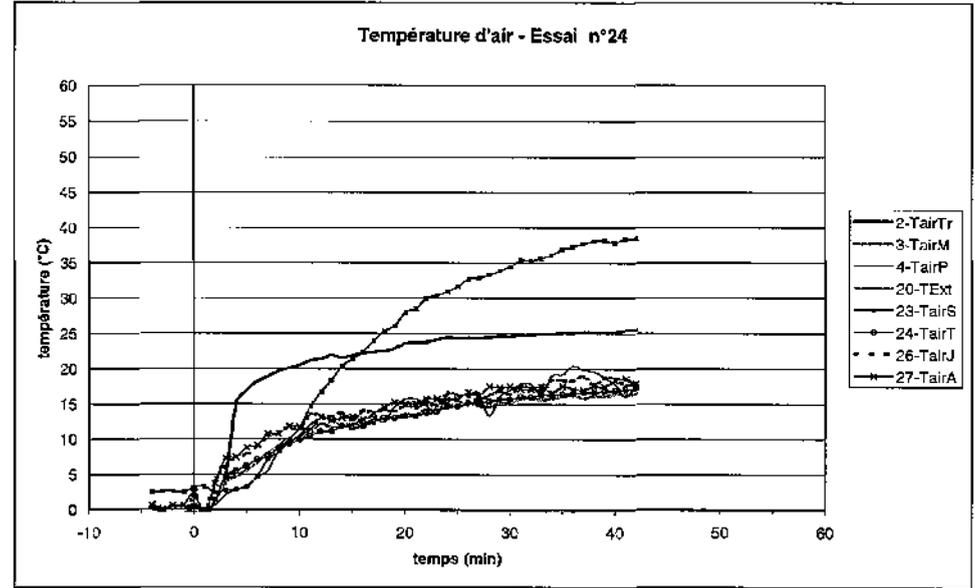
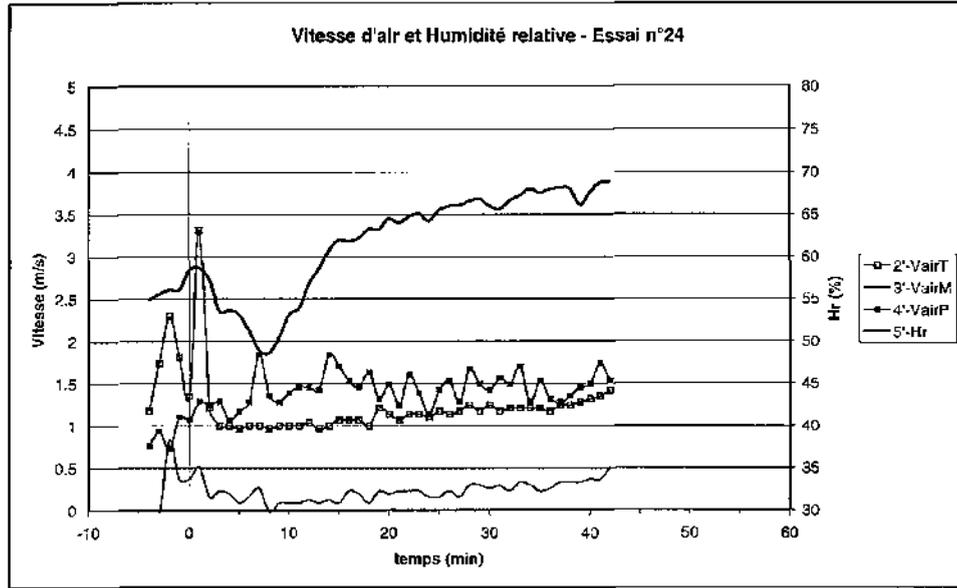
Essai n°21



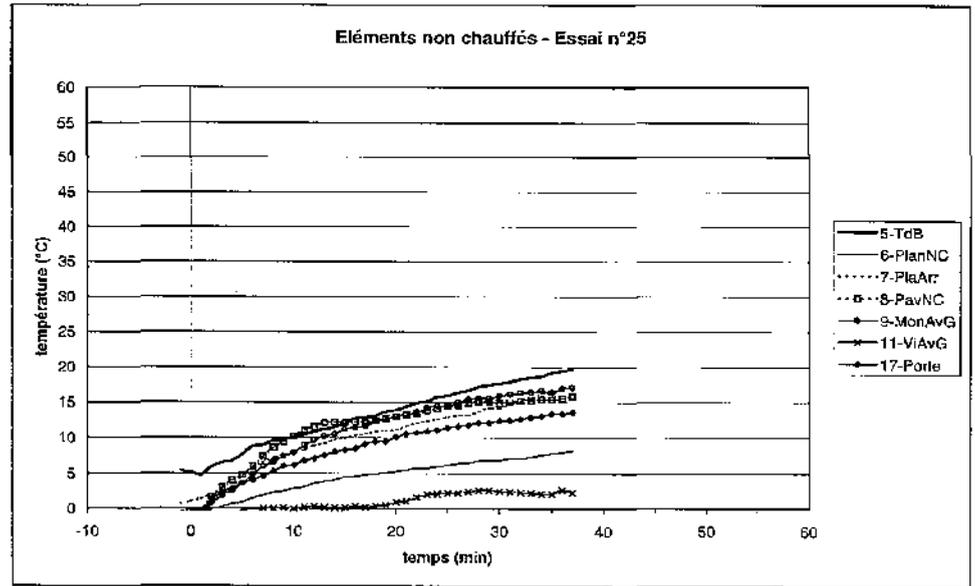
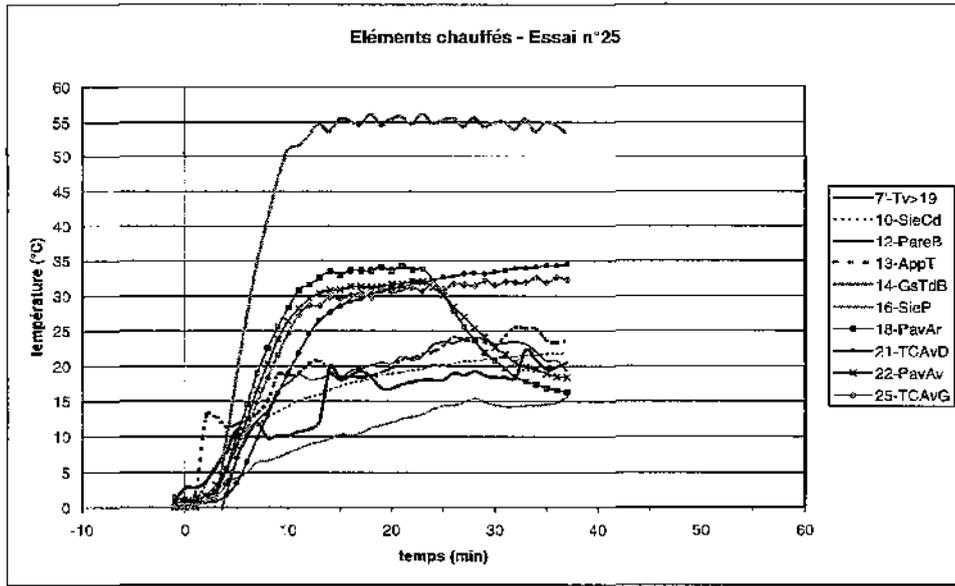
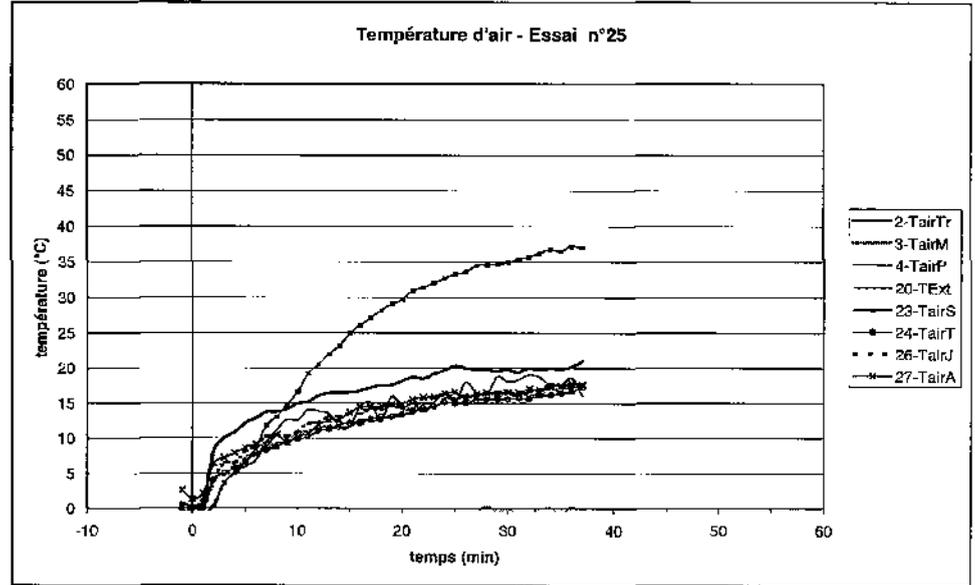
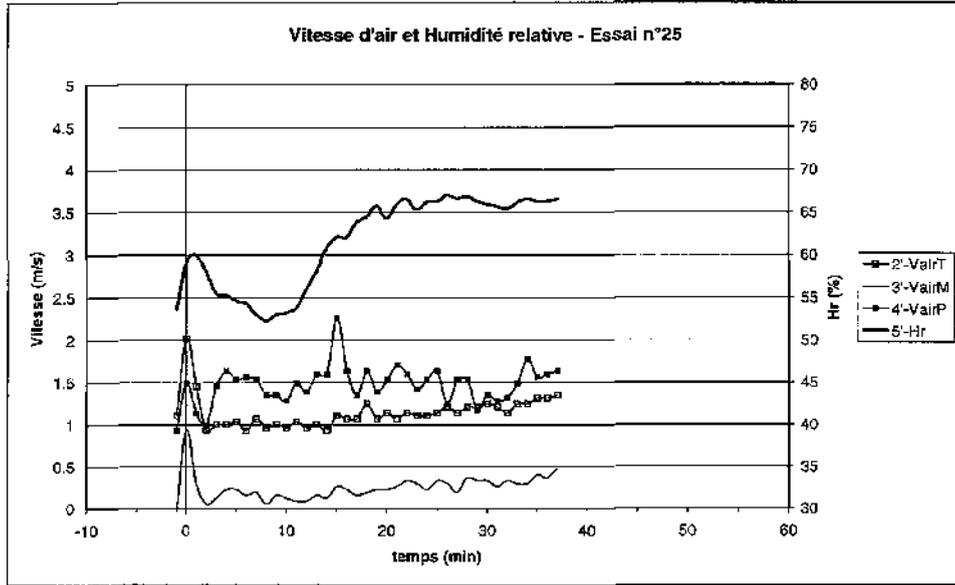
Essai n°22



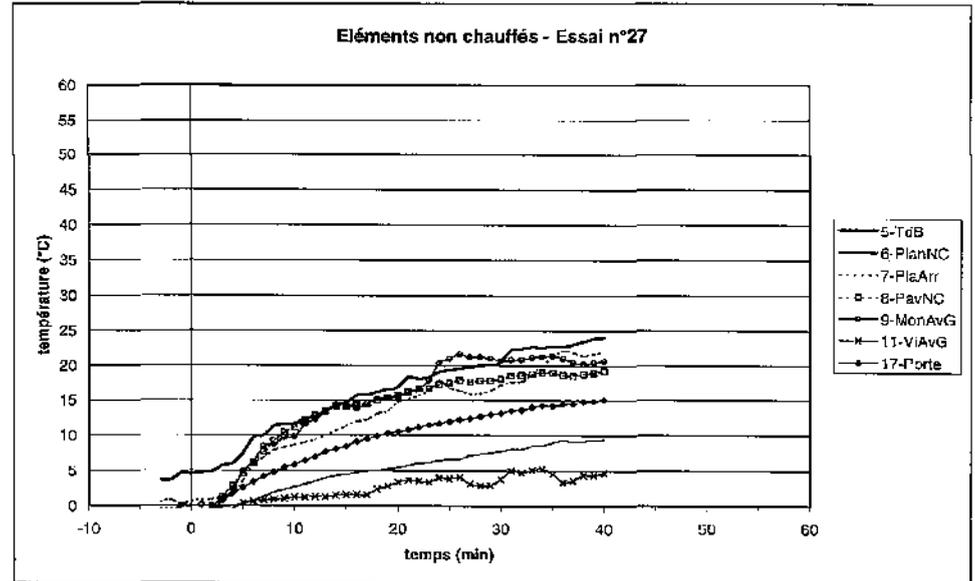
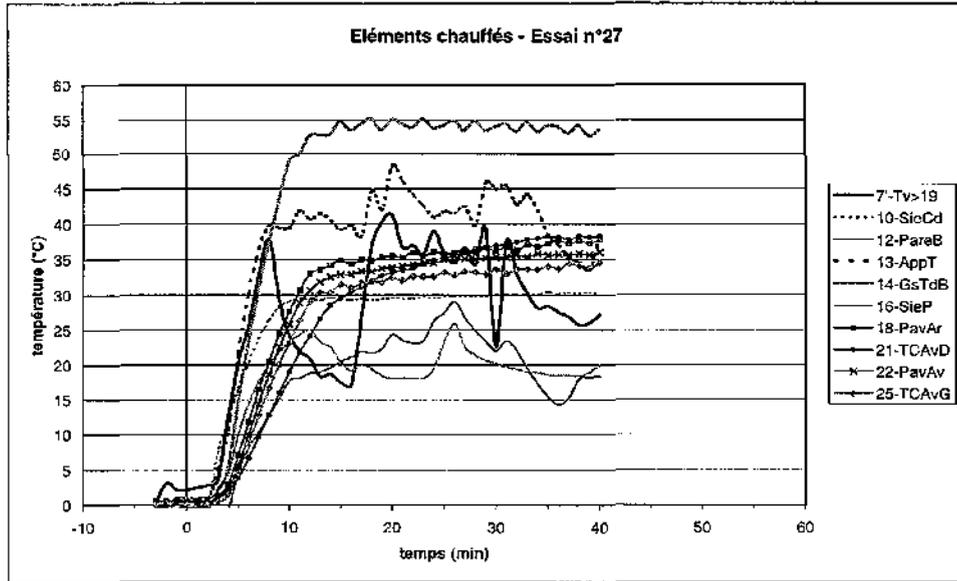
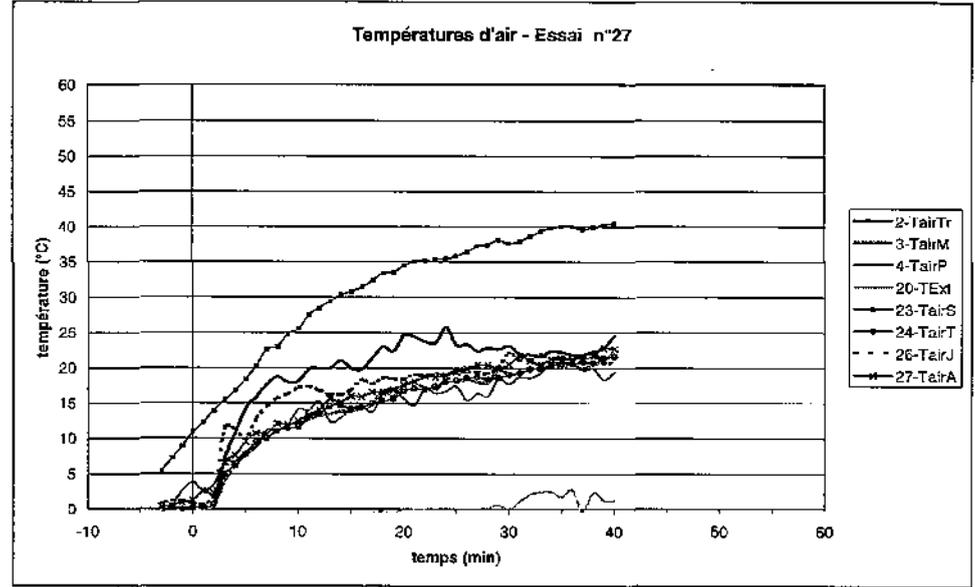
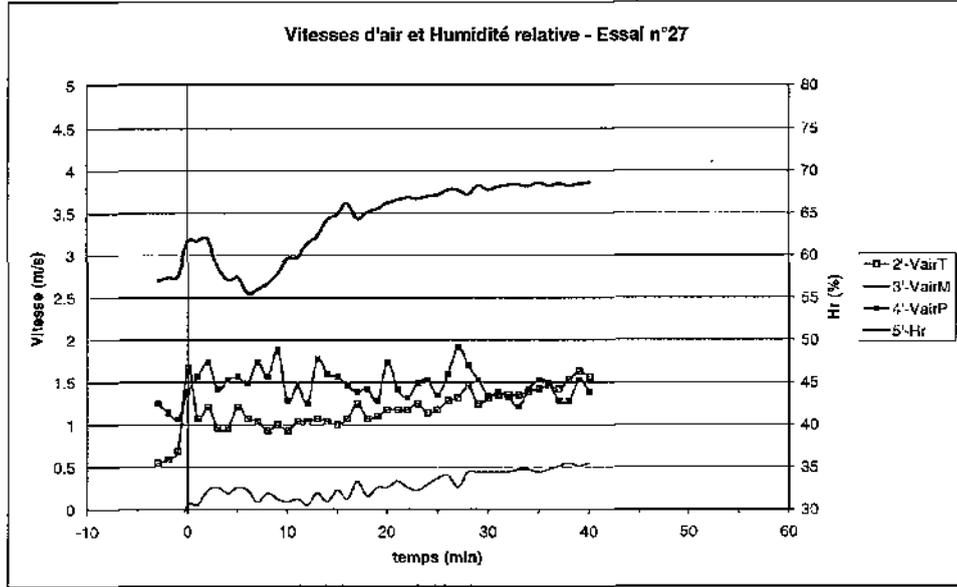
Essai n°24



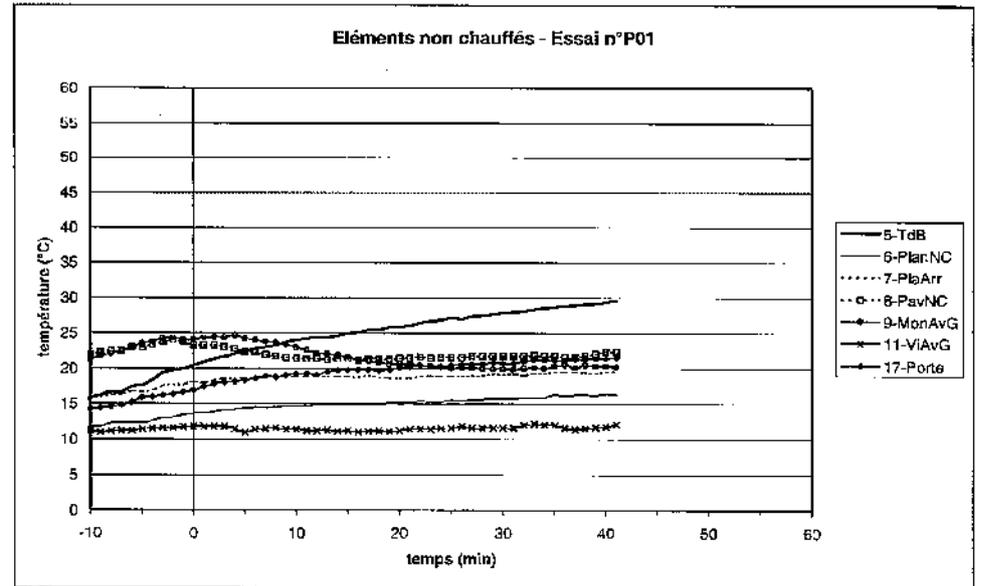
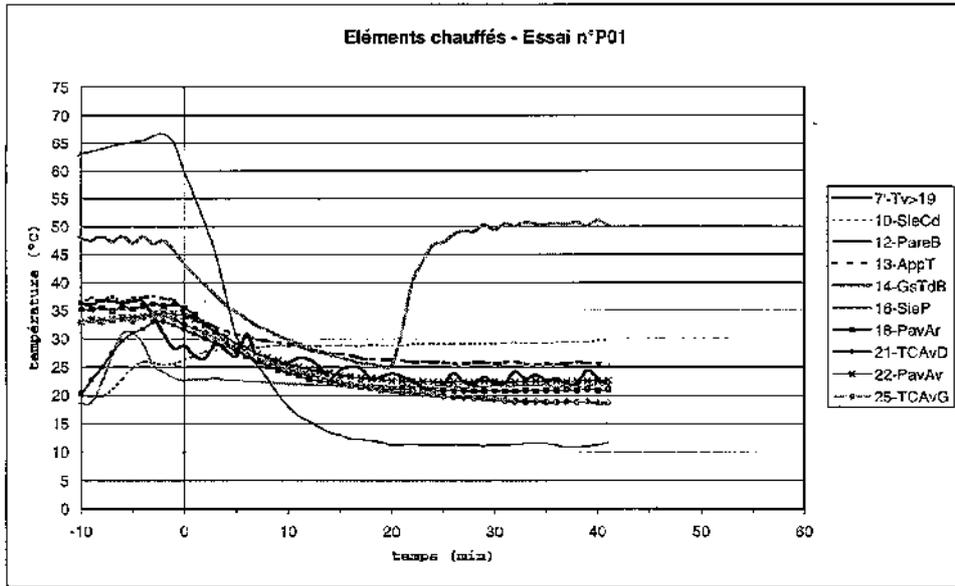
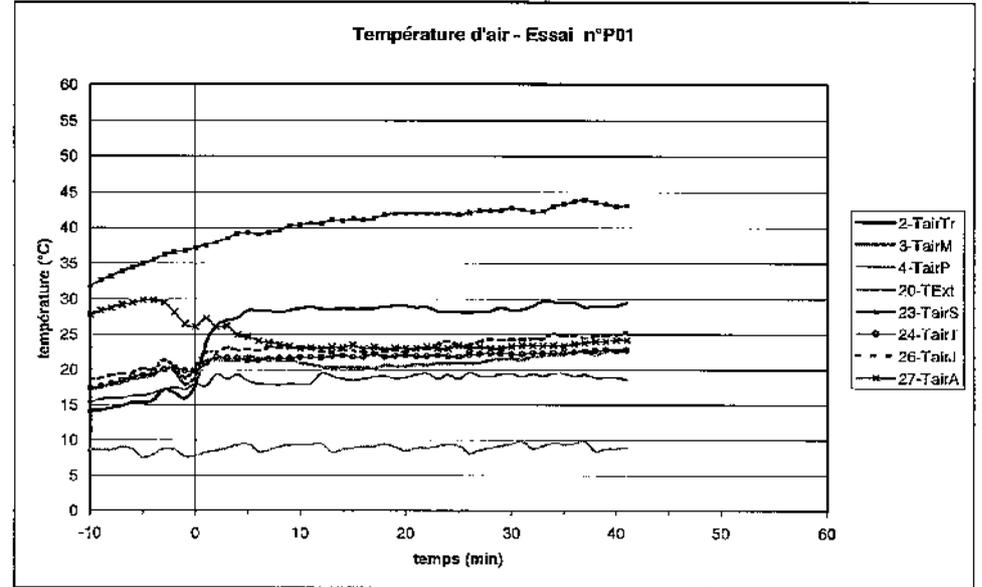
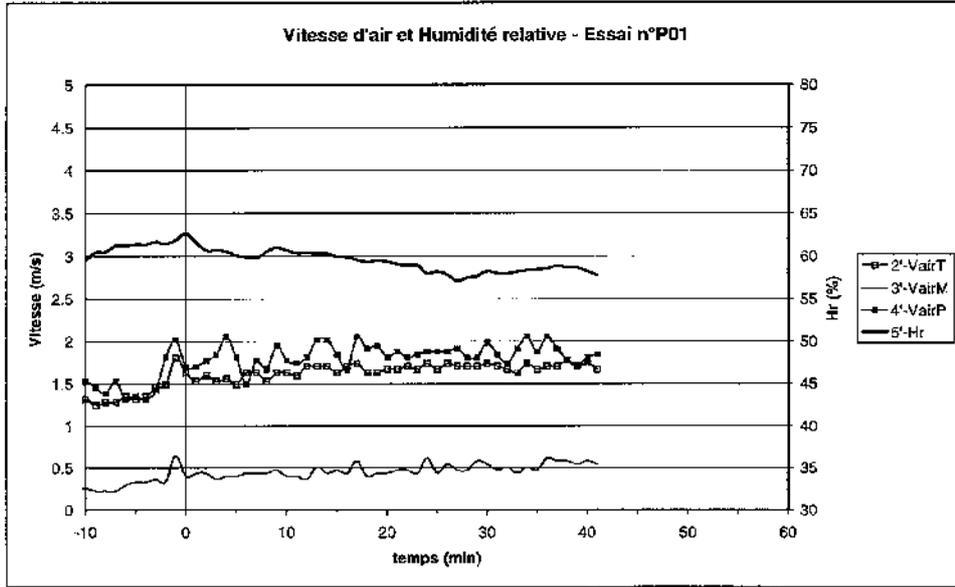
Essai n°25



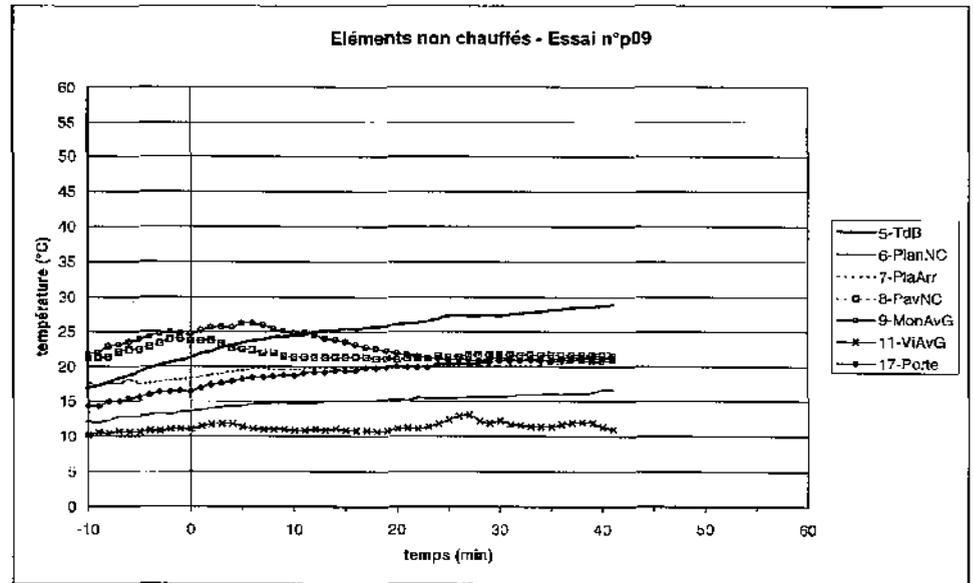
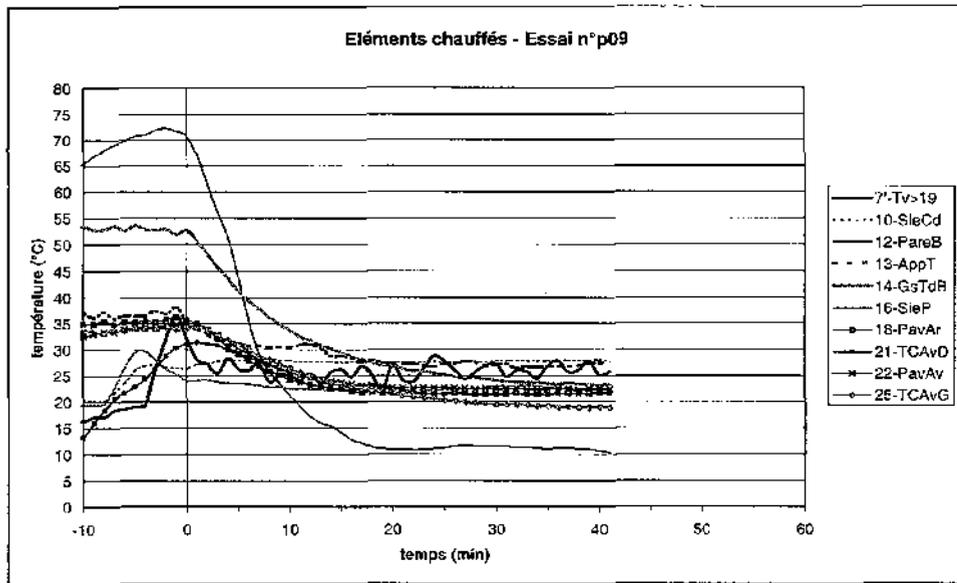
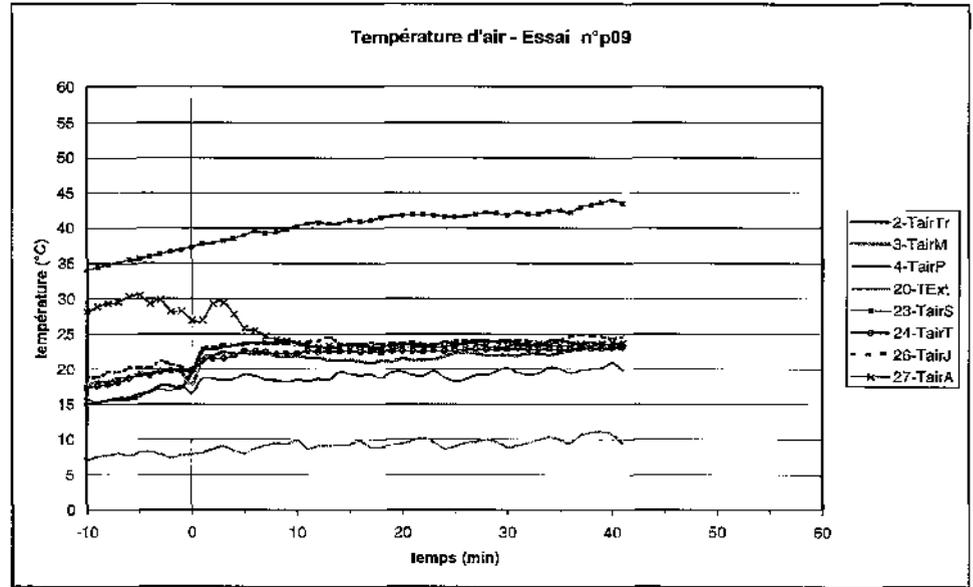
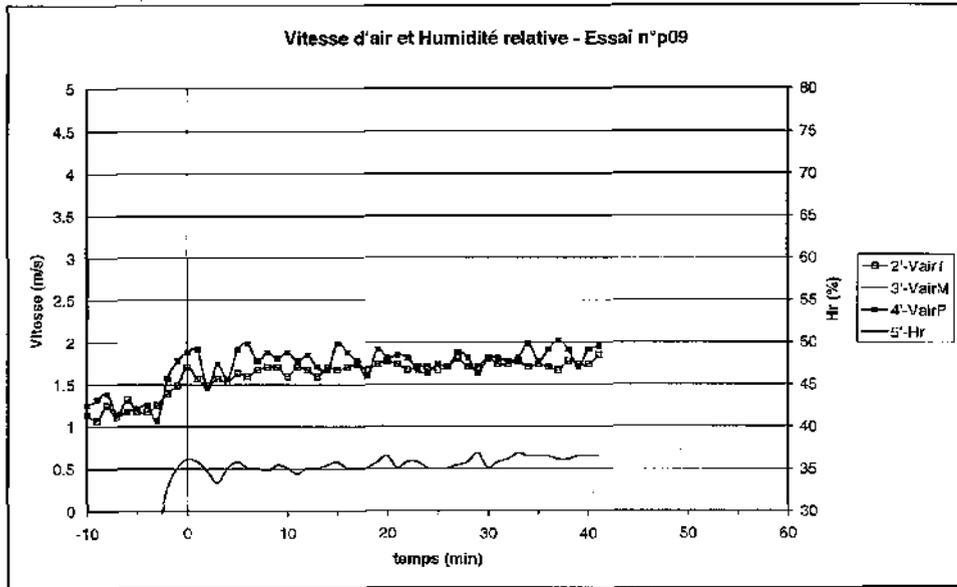
Essai n°27



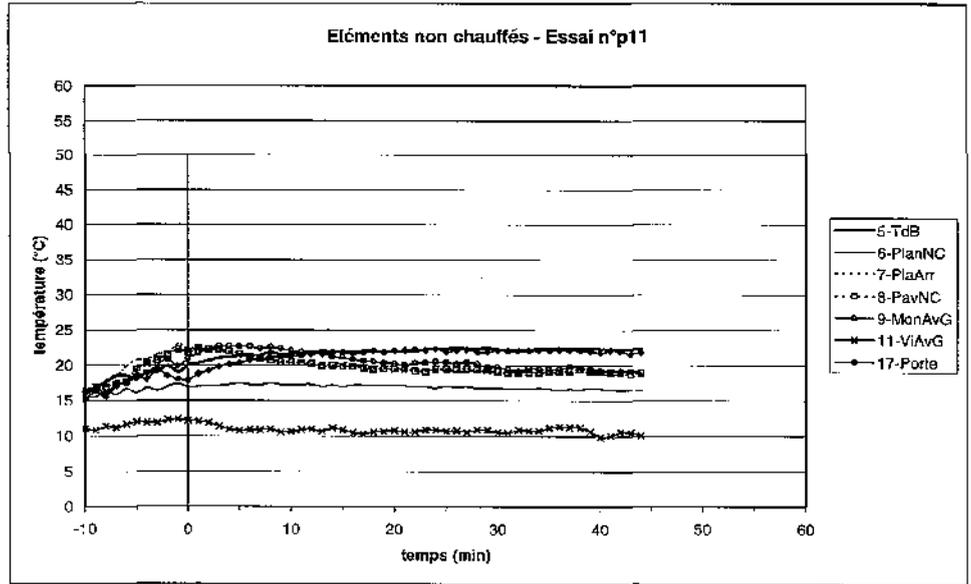
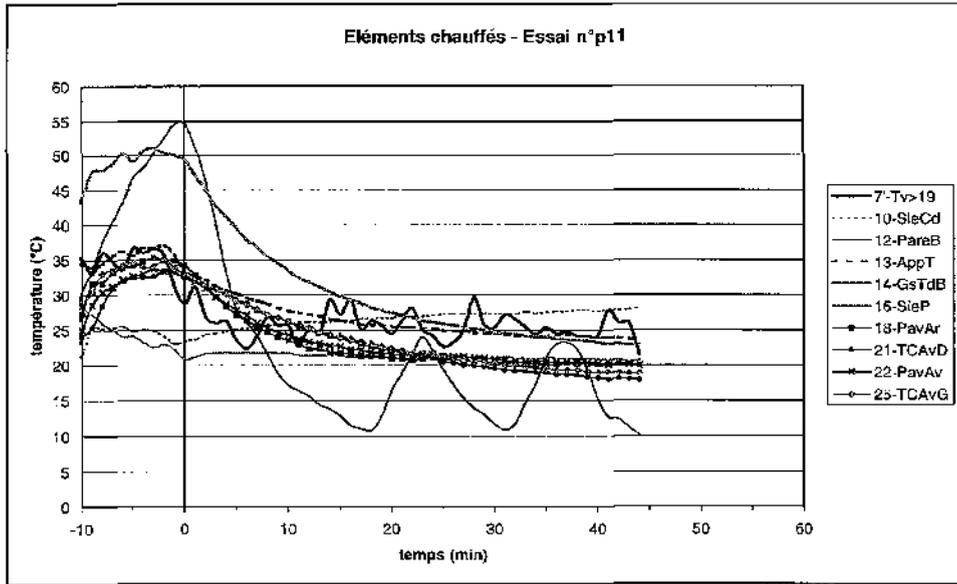
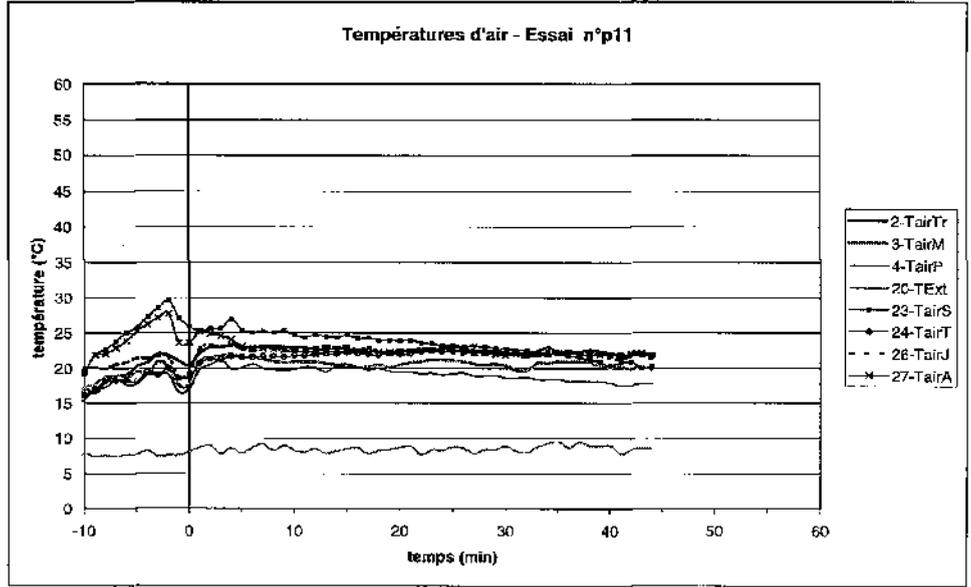
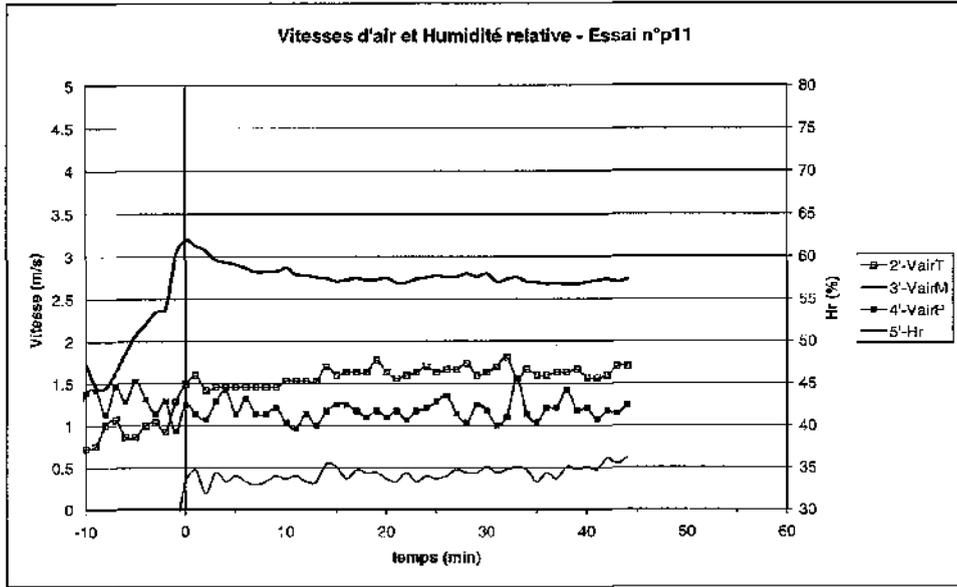
Essai n°p01



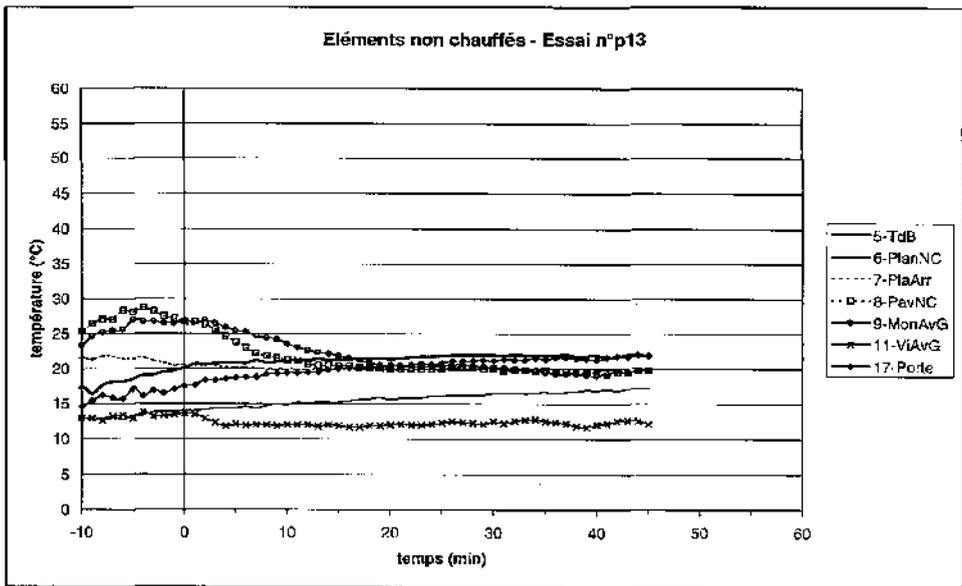
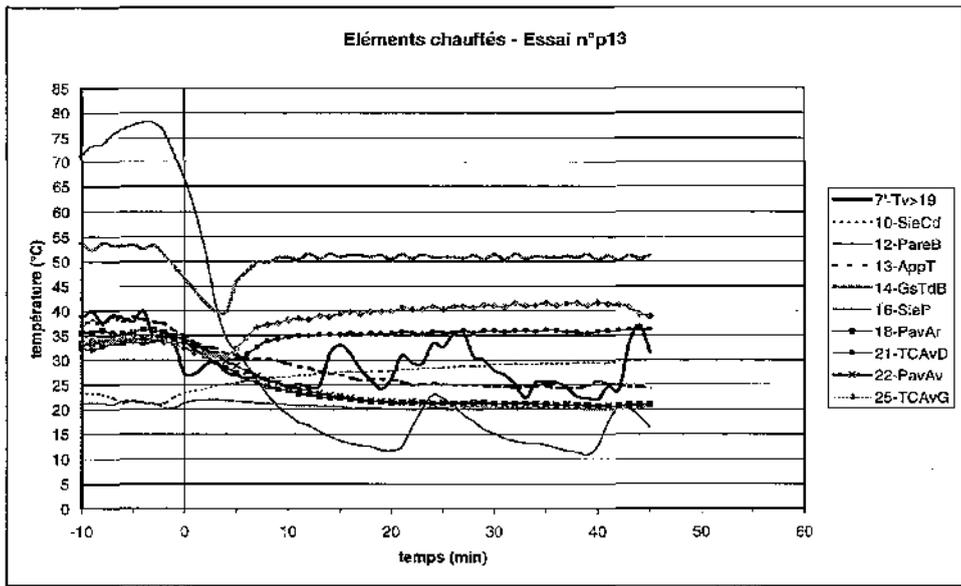
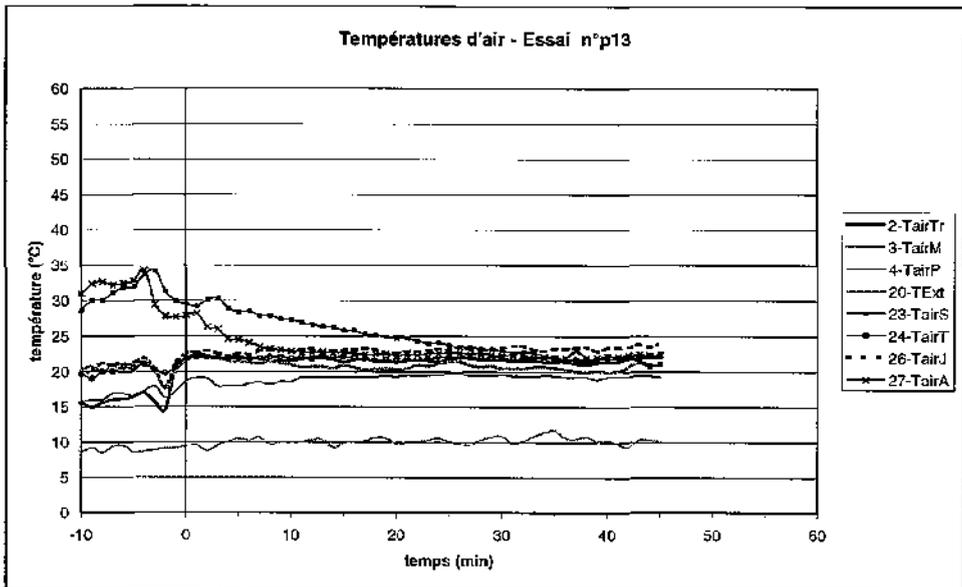
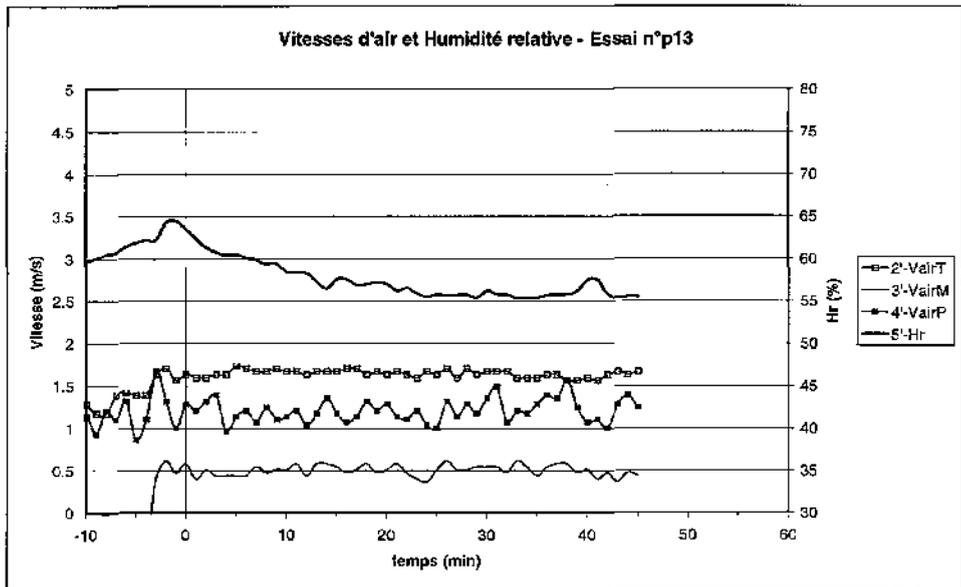
Essai n°p09



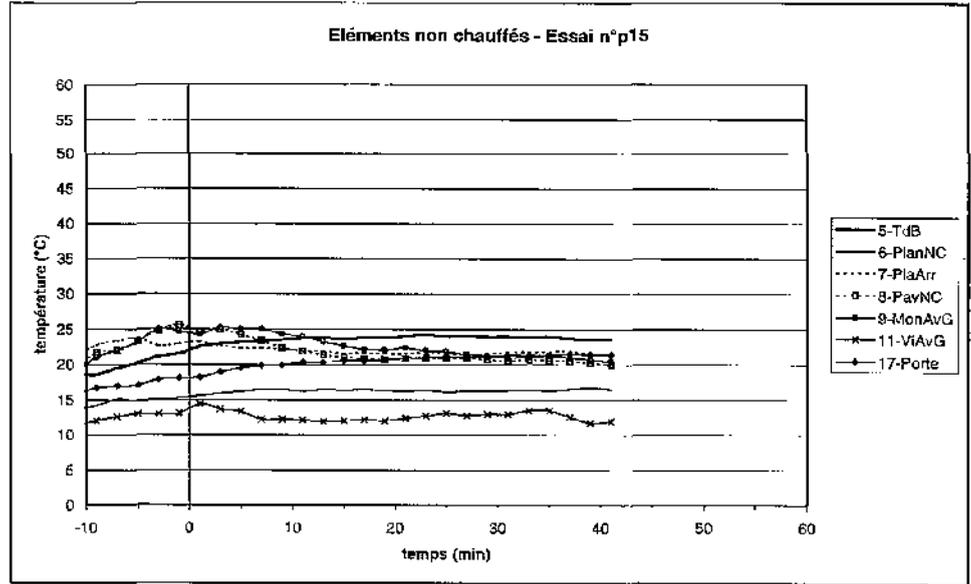
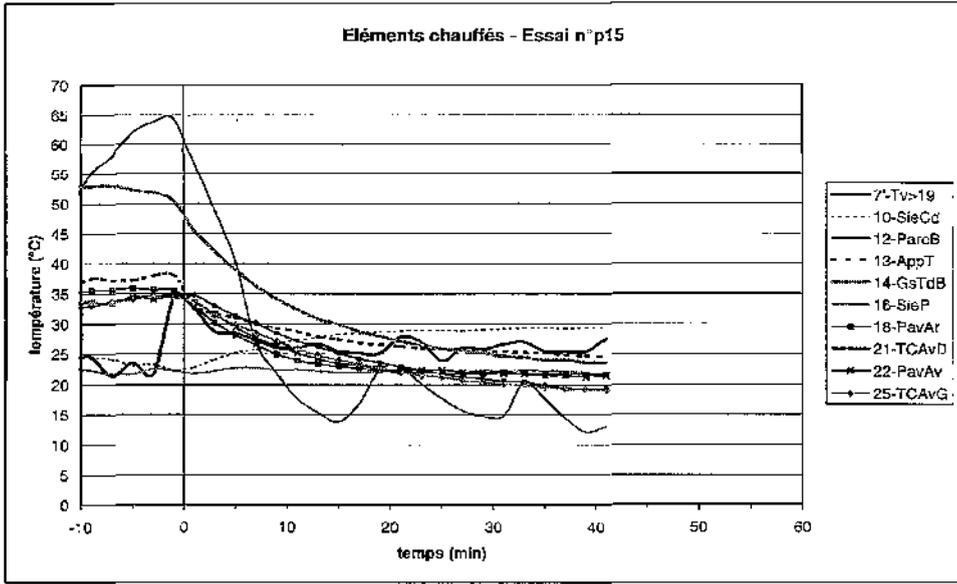
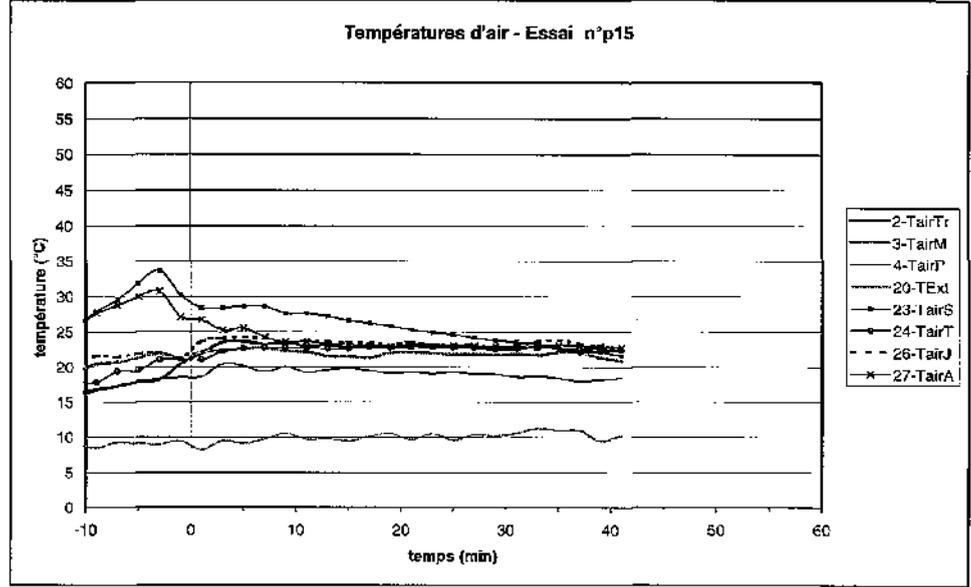
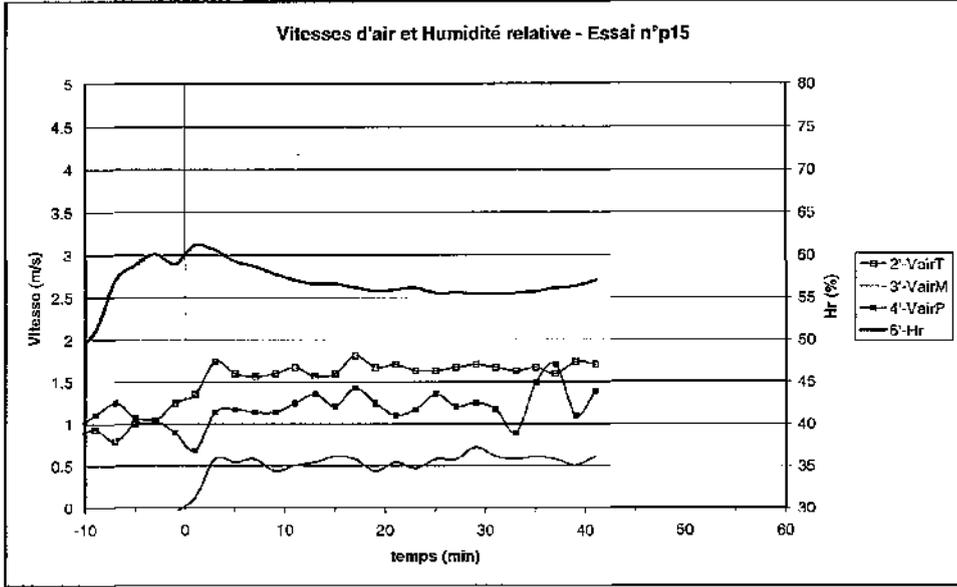
Essai n°p11



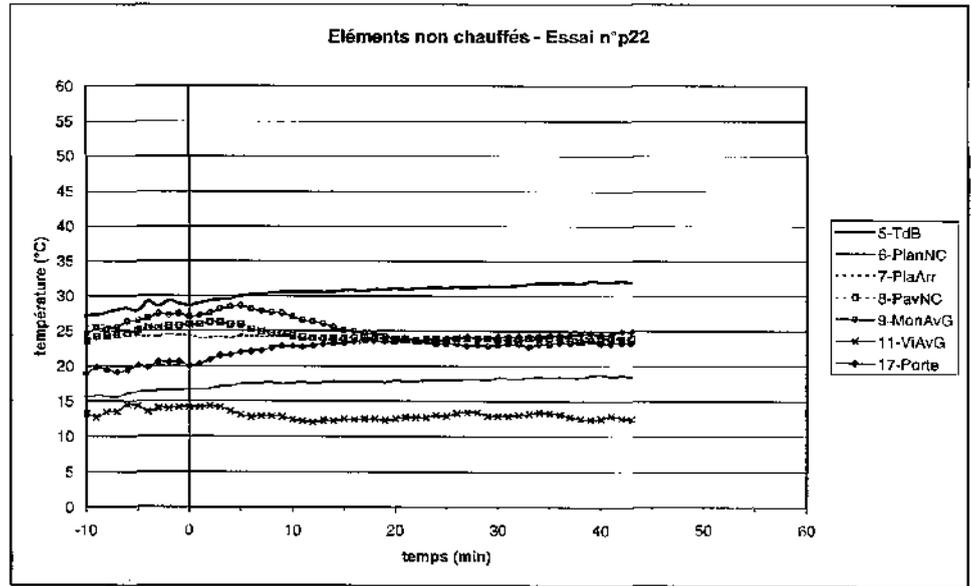
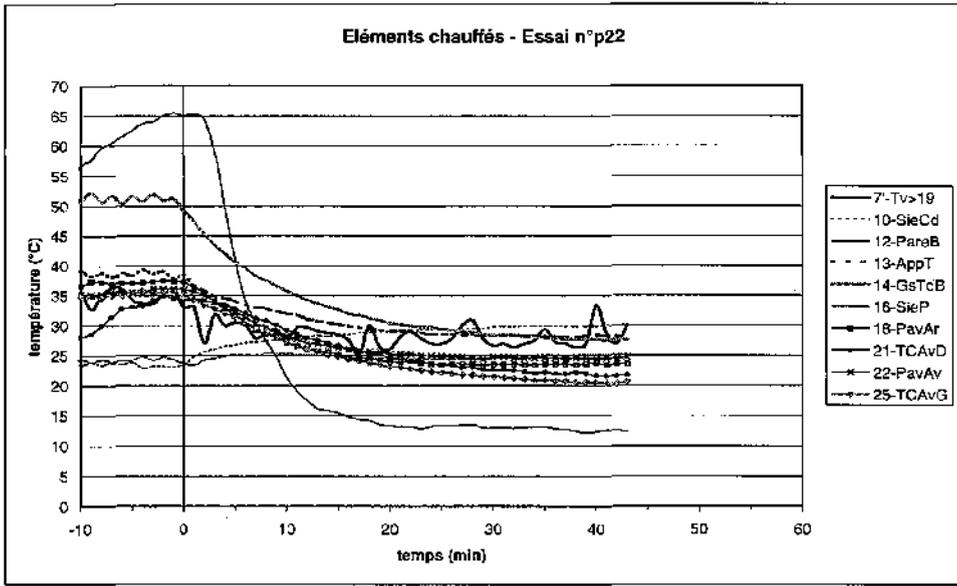
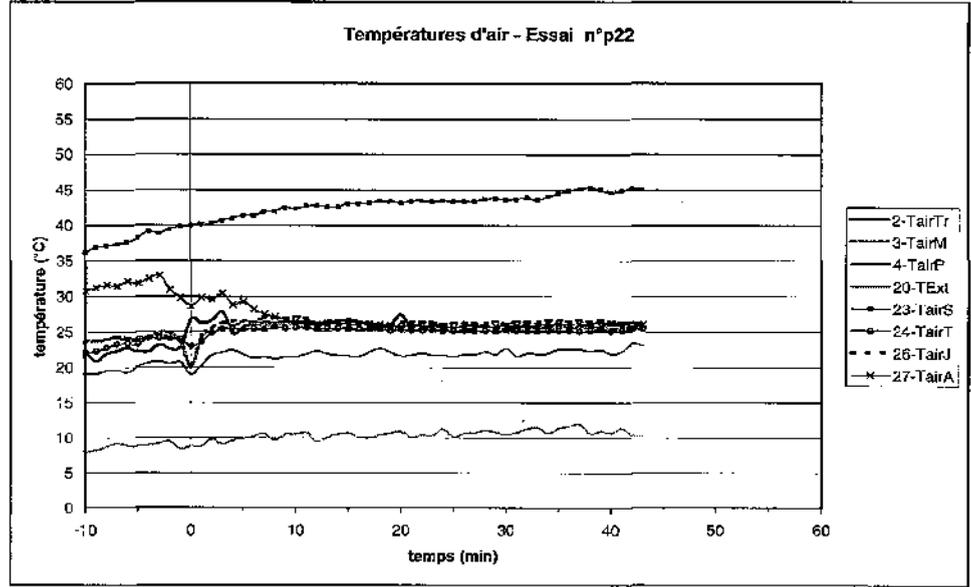
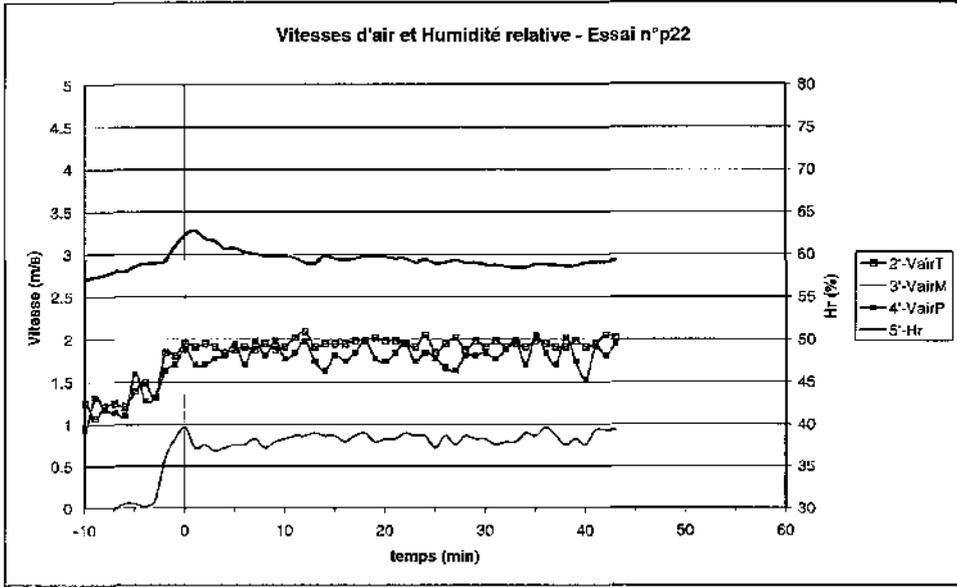
Essai n°p13



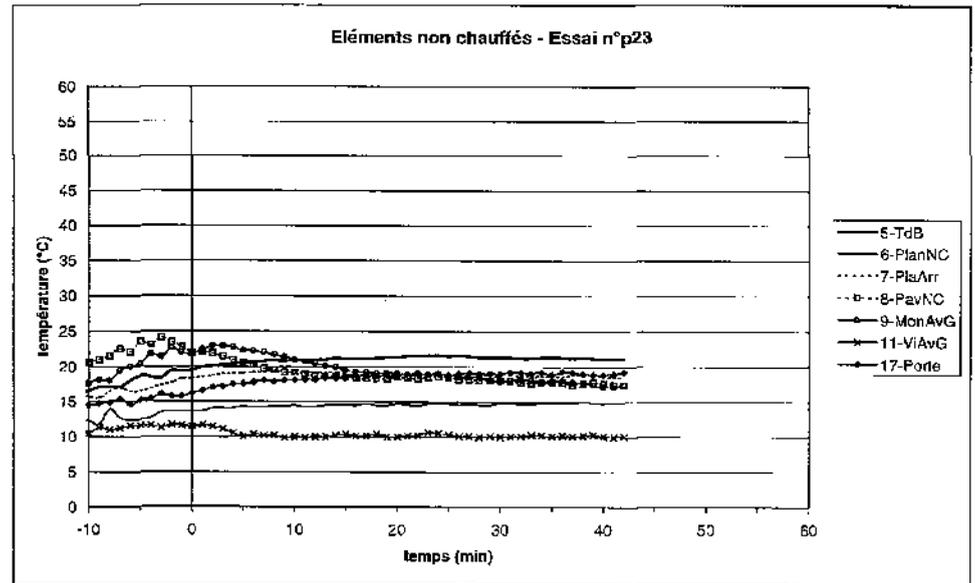
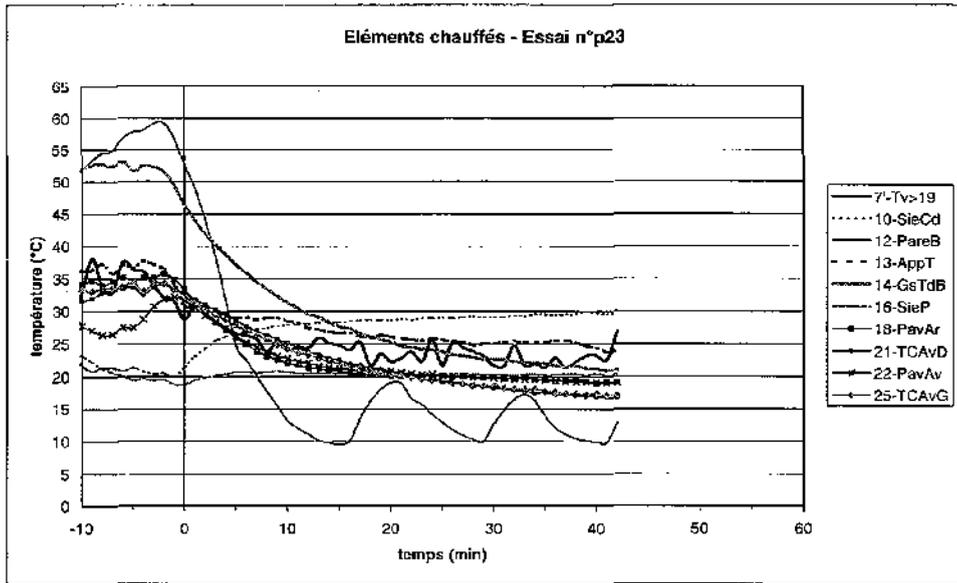
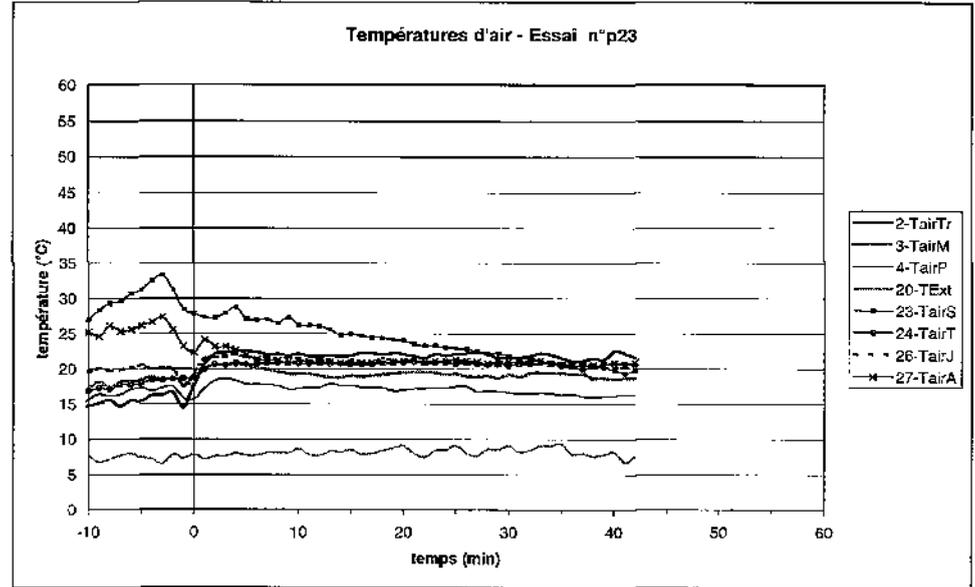
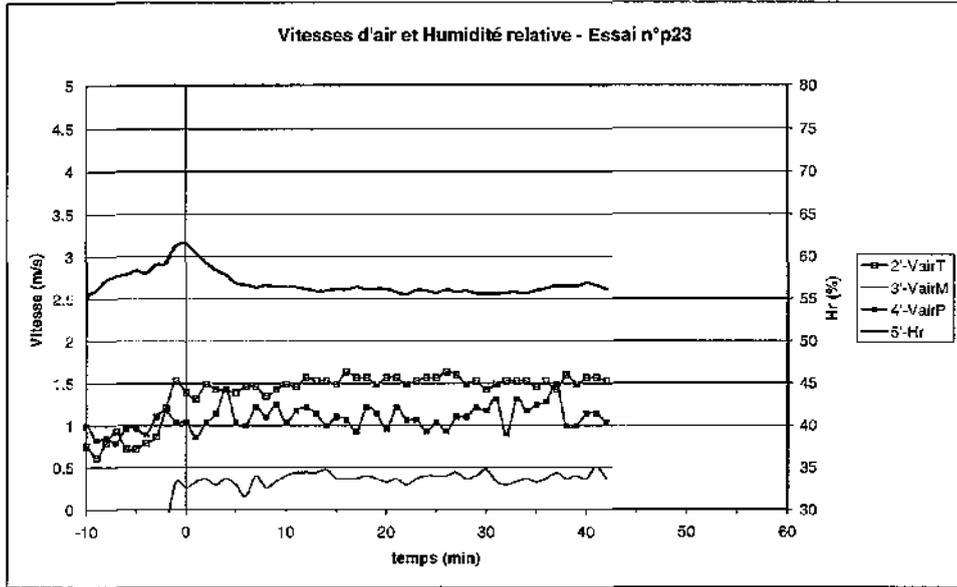
Essai n°p15



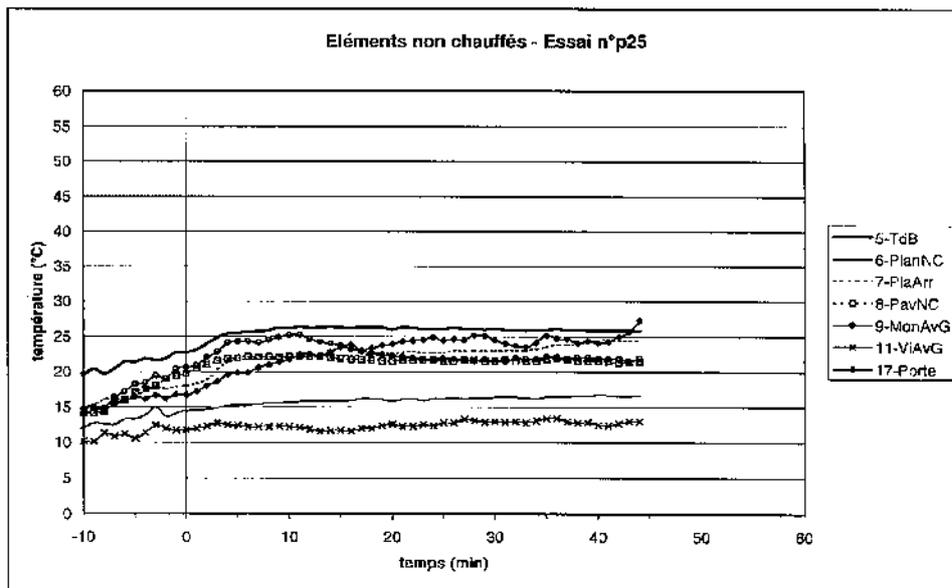
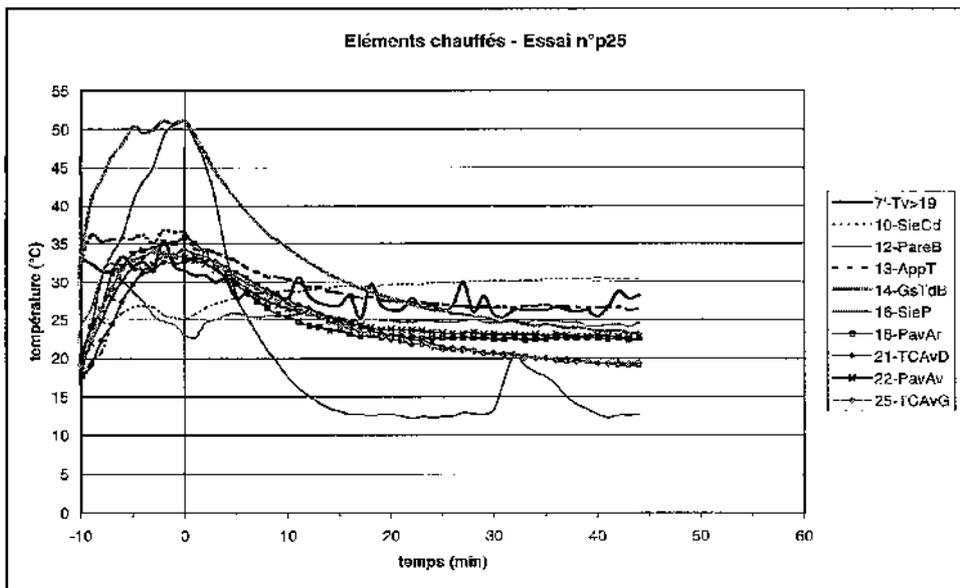
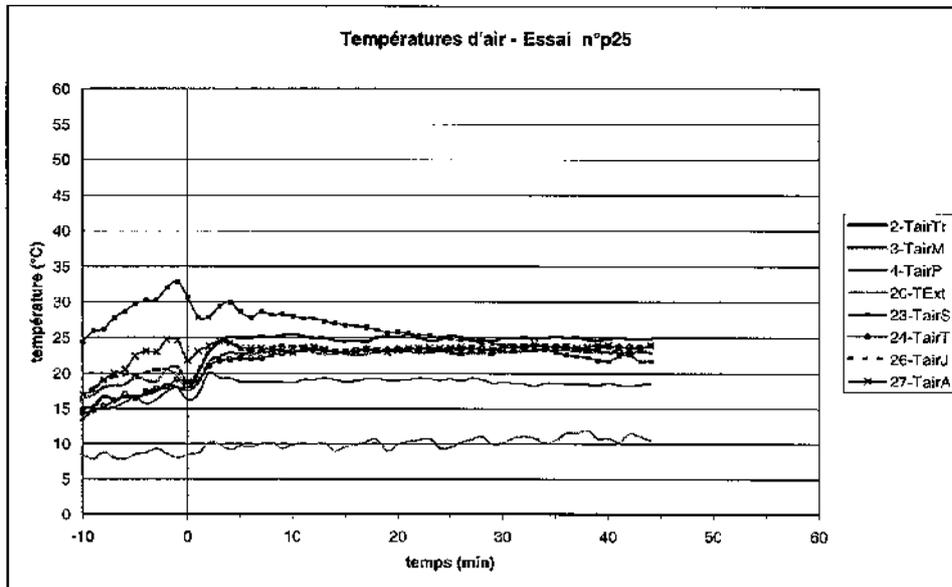
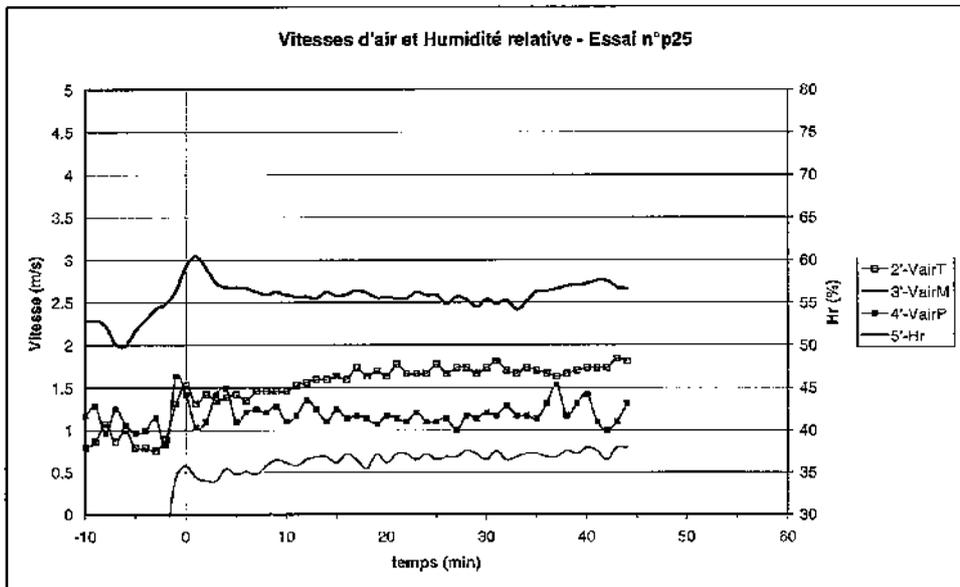
Essai n°p22



Essai n°p23



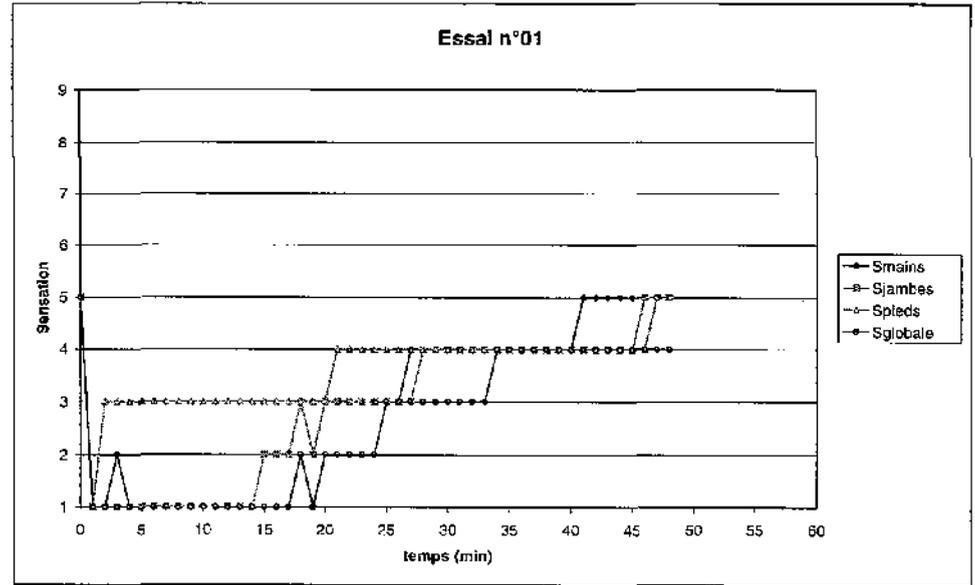
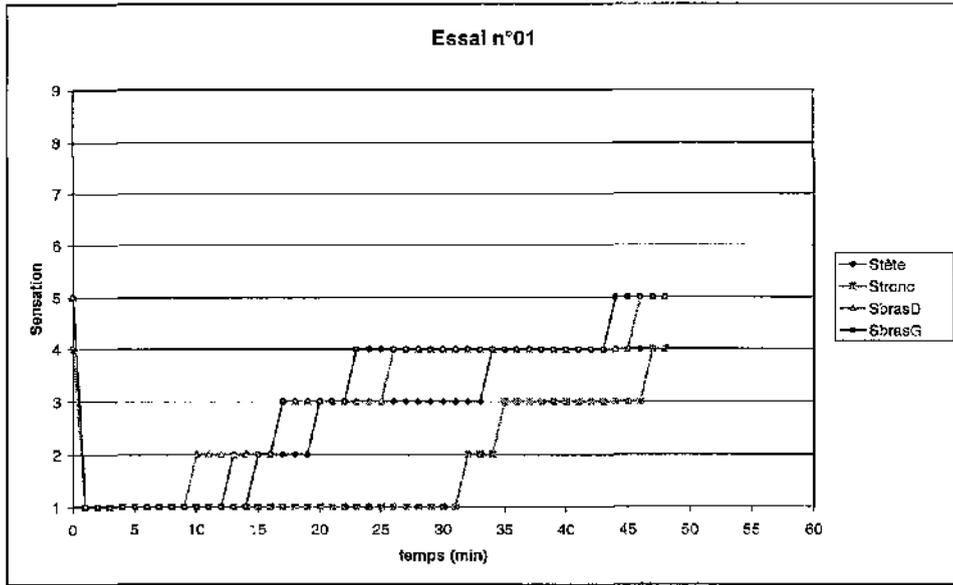
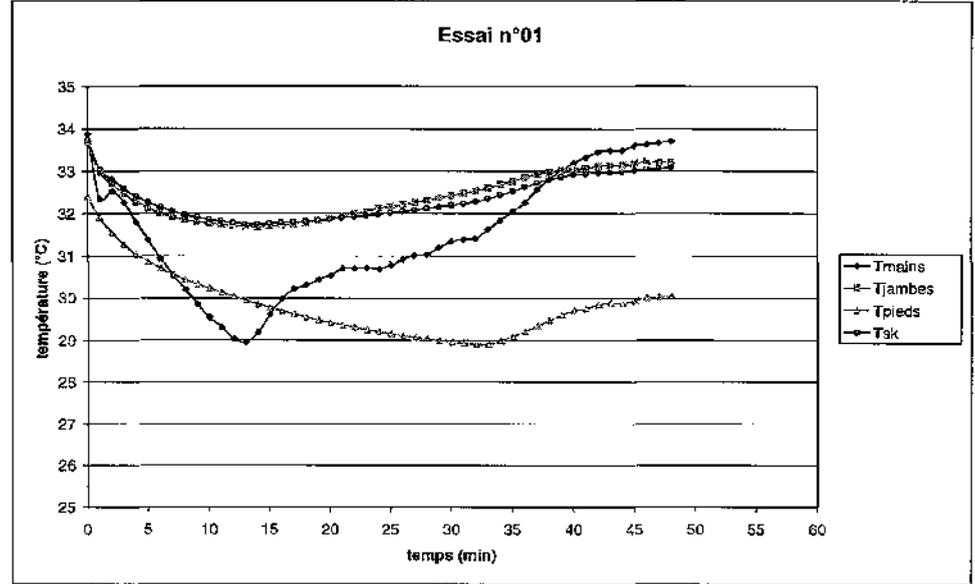
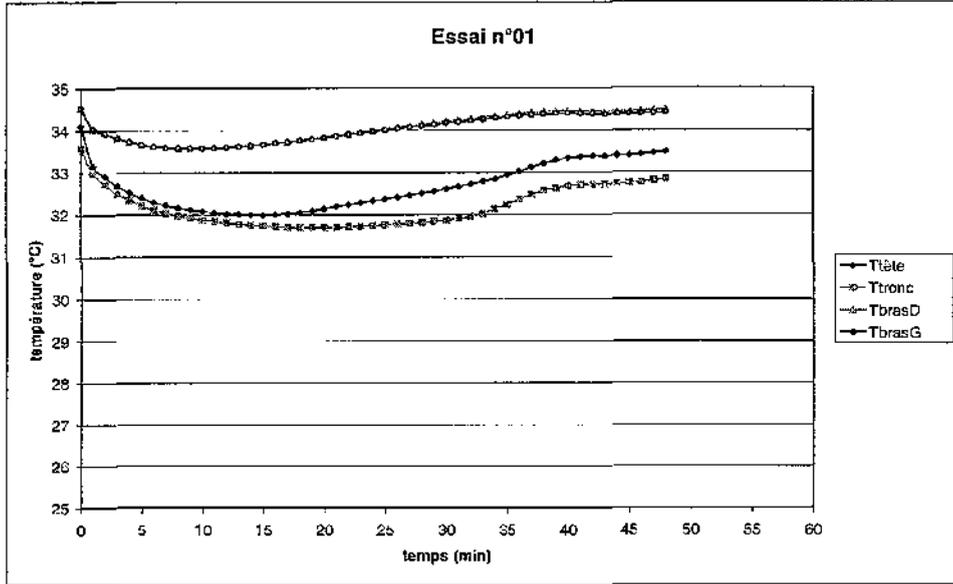
Essai n°p25



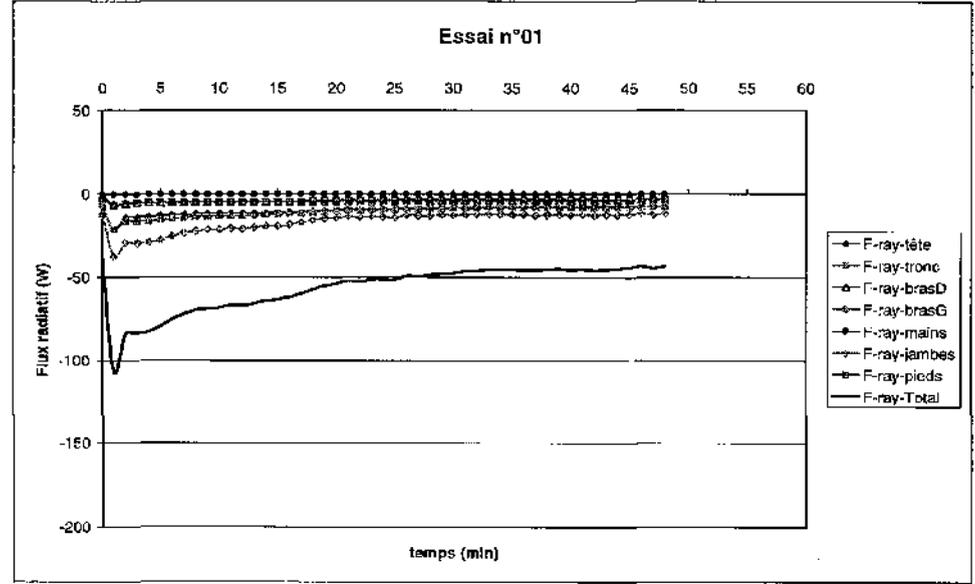
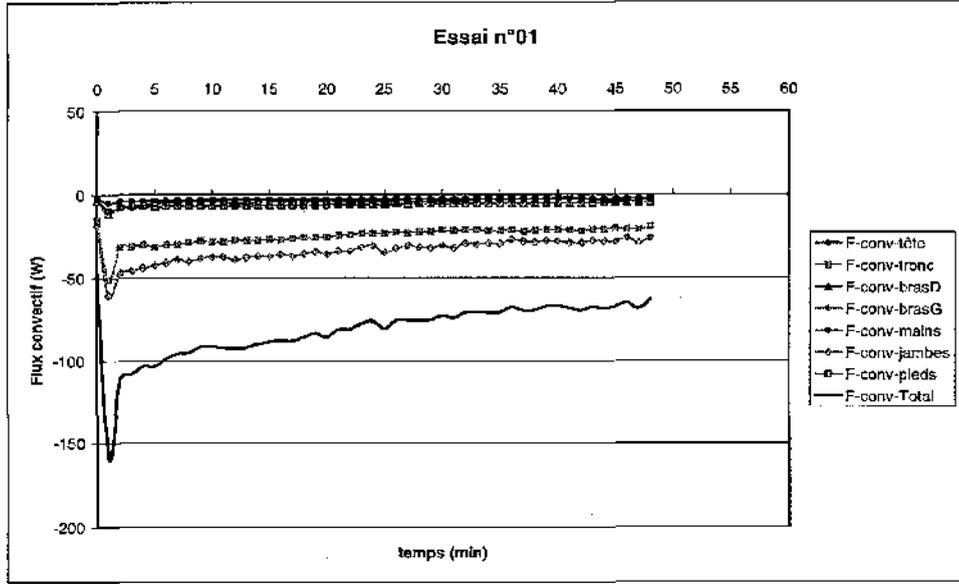
ANNEXE B

Résultats des simulations

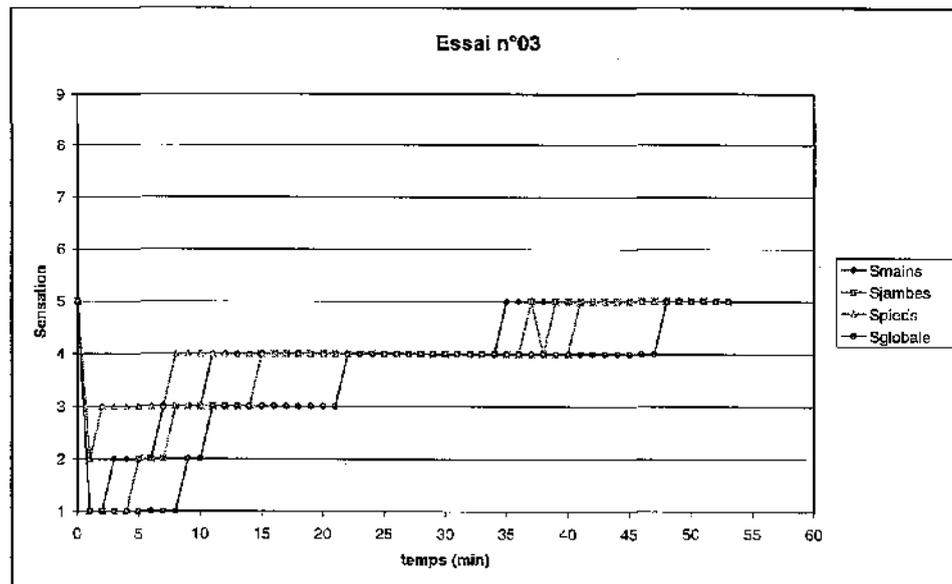
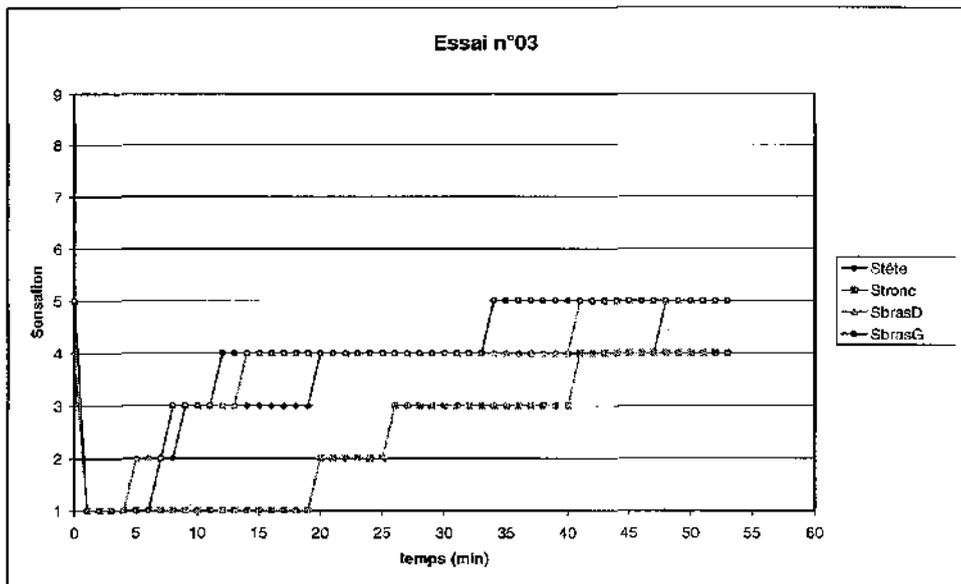
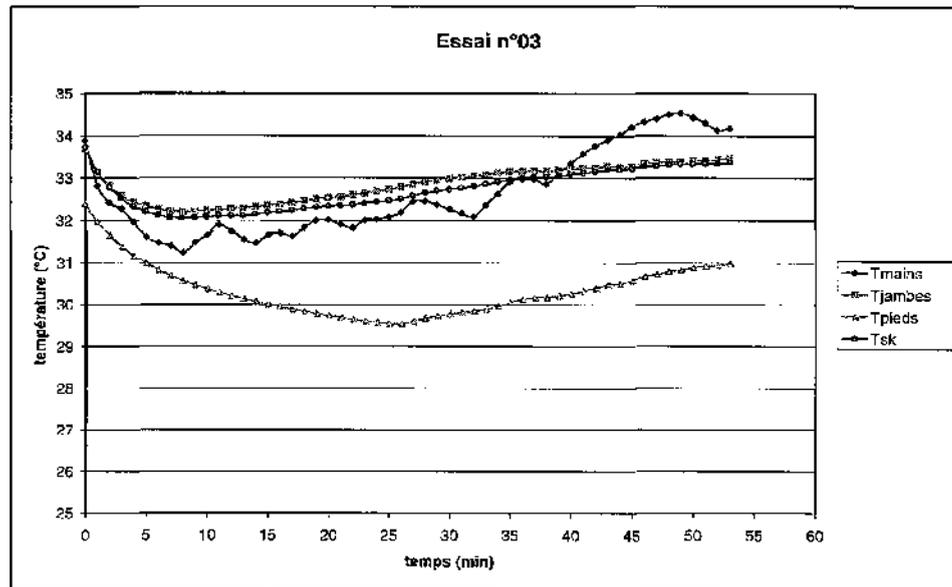
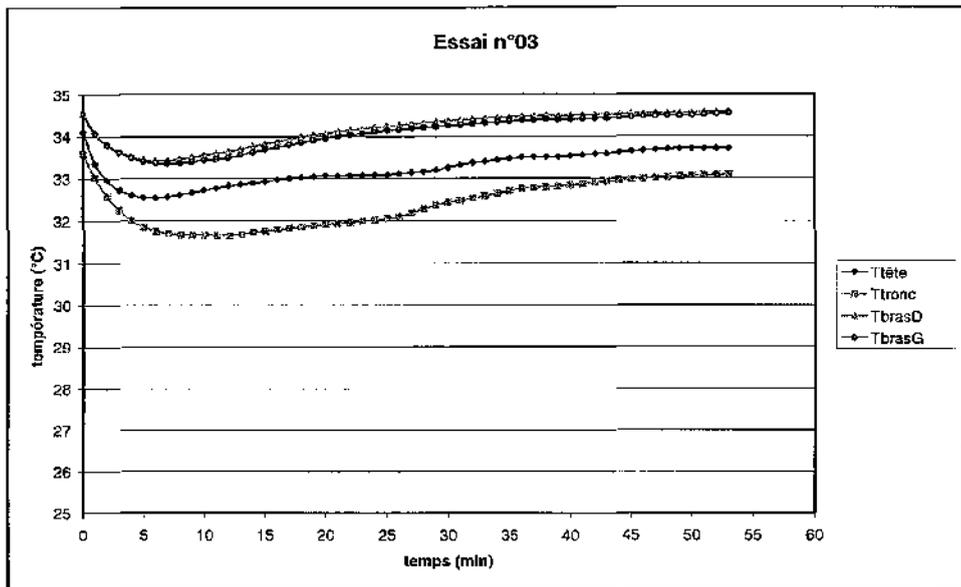
Essai n°1



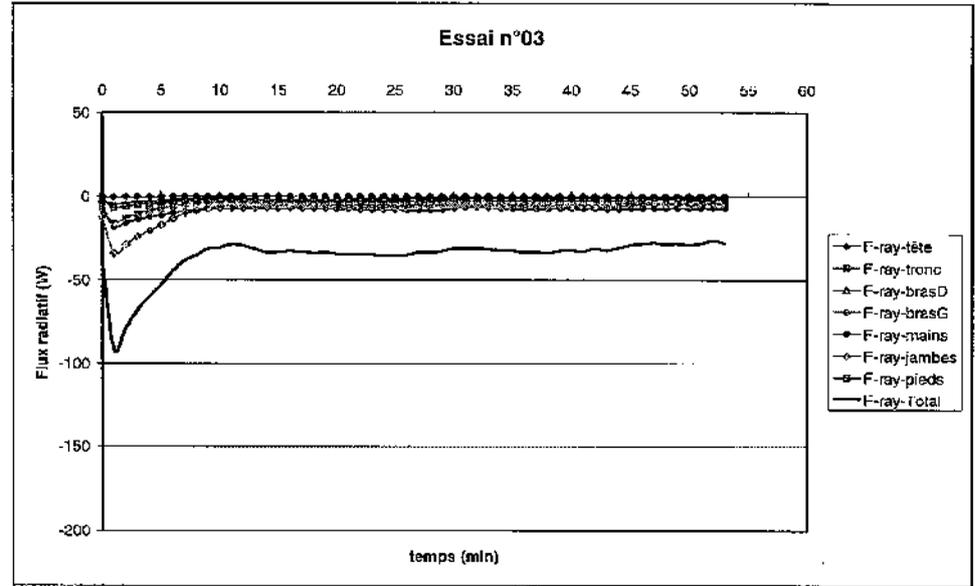
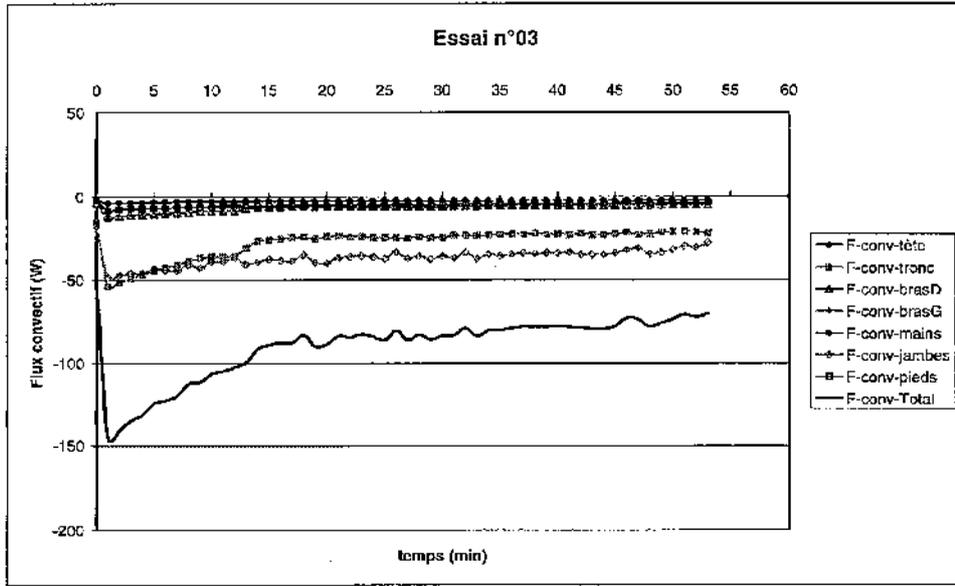
Essai n°1



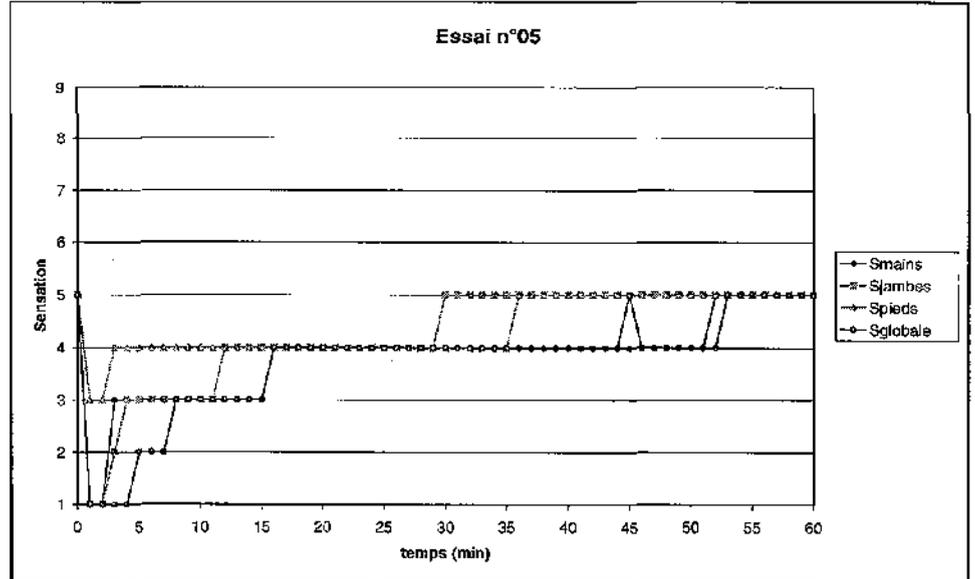
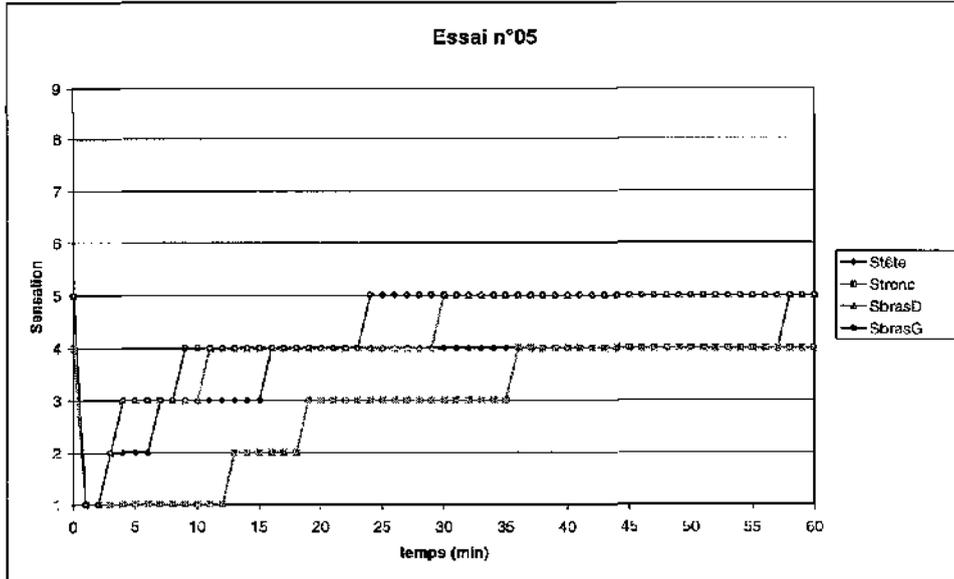
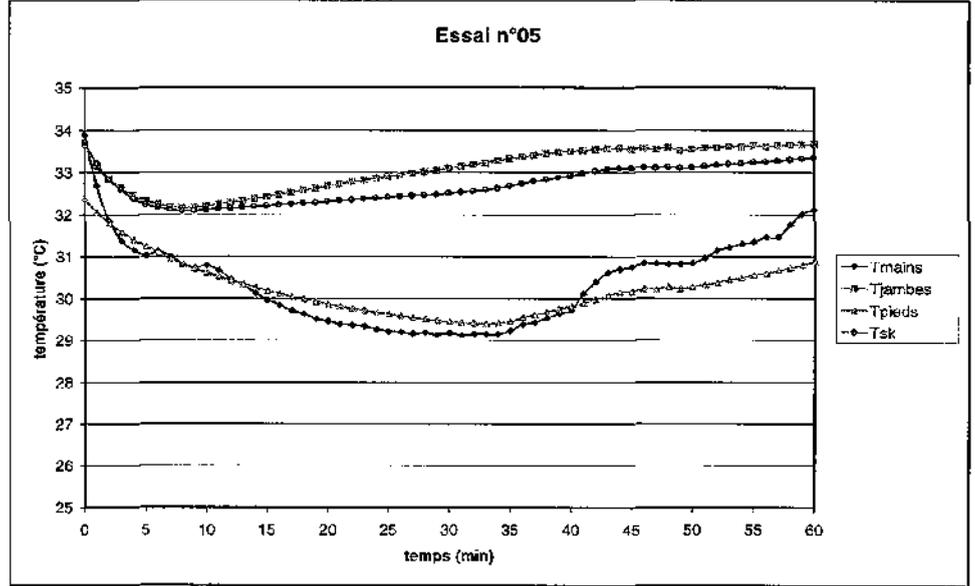
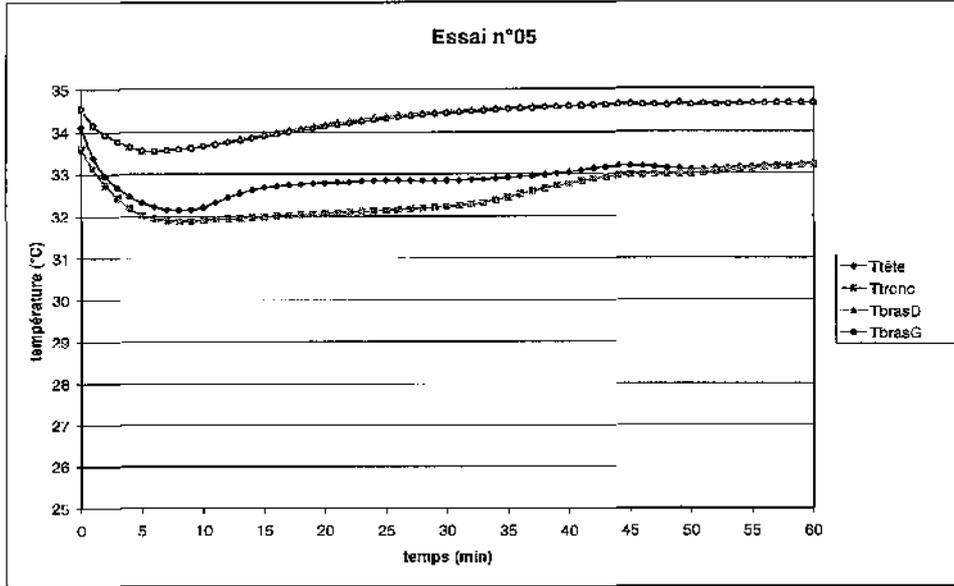
Essai n°3



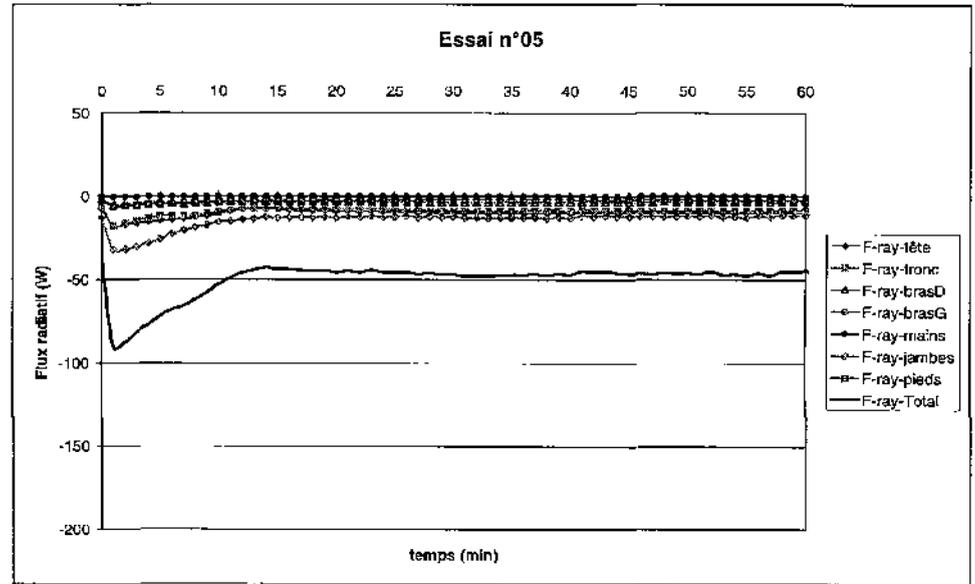
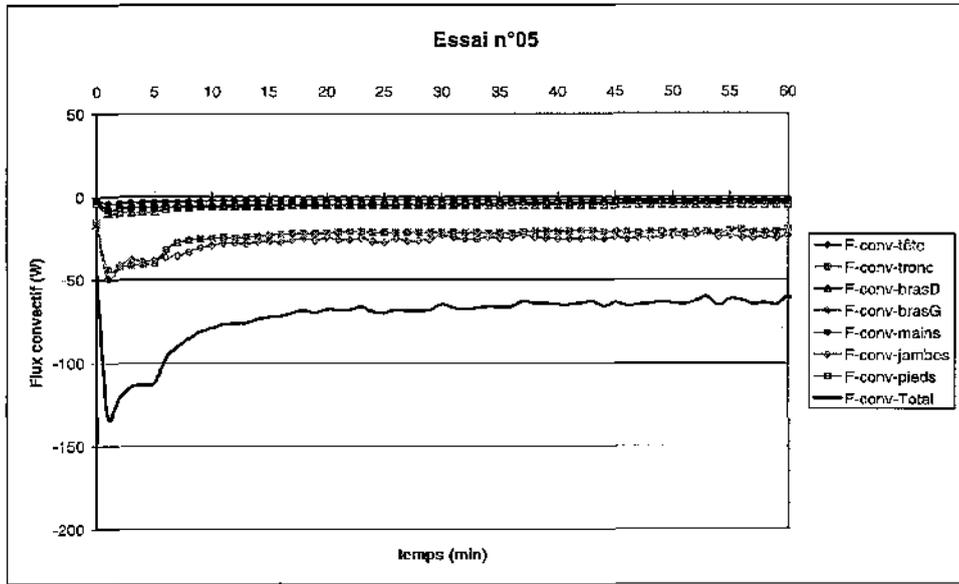
Essai n°3



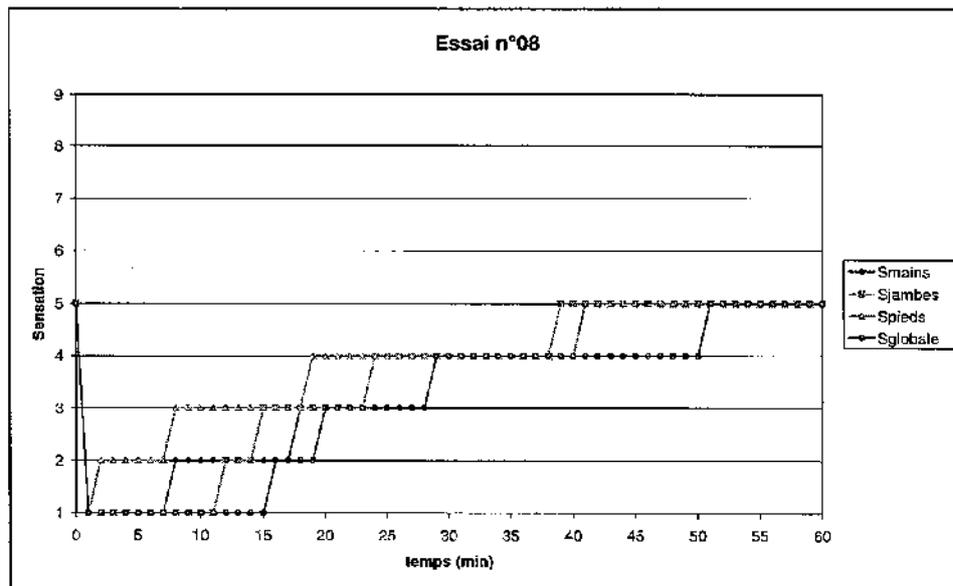
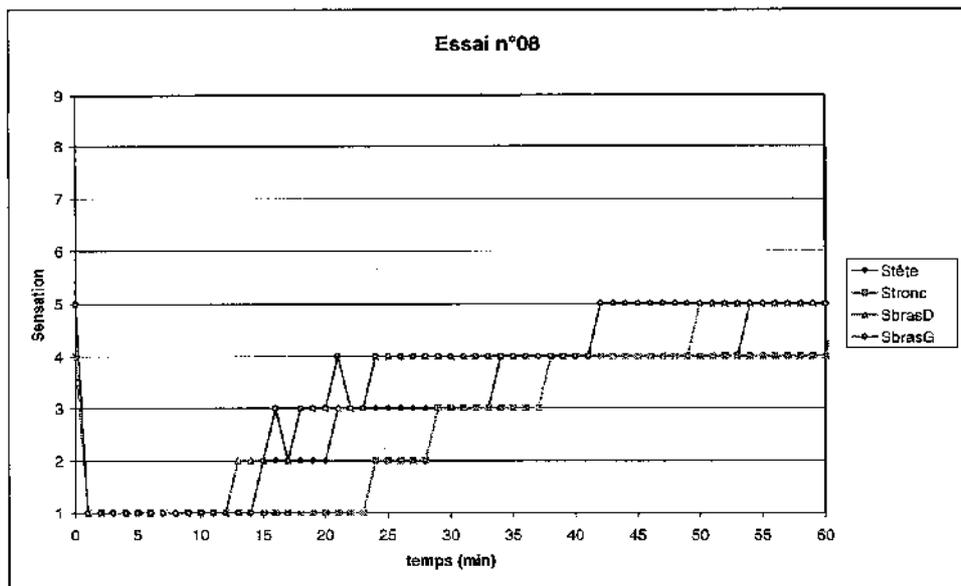
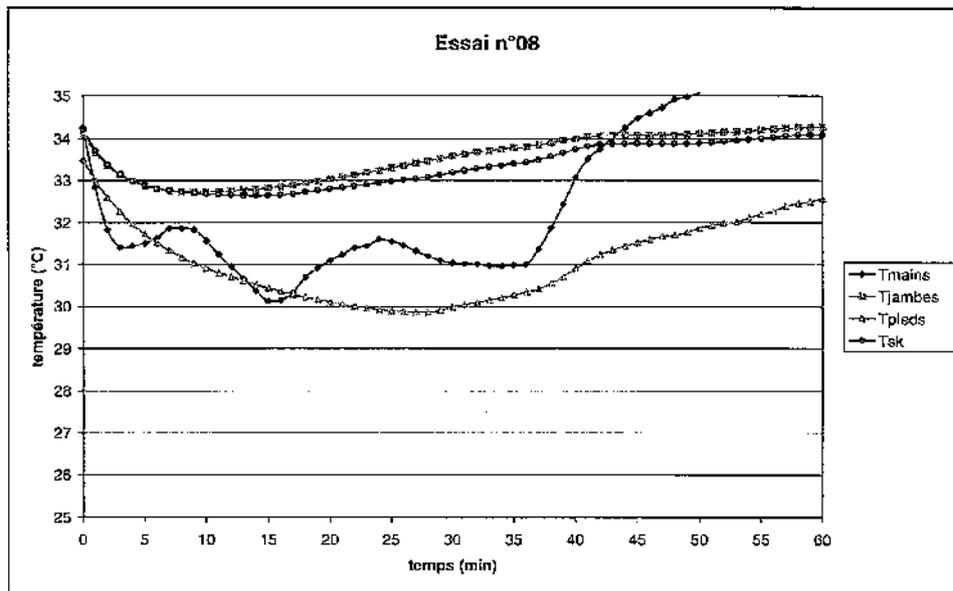
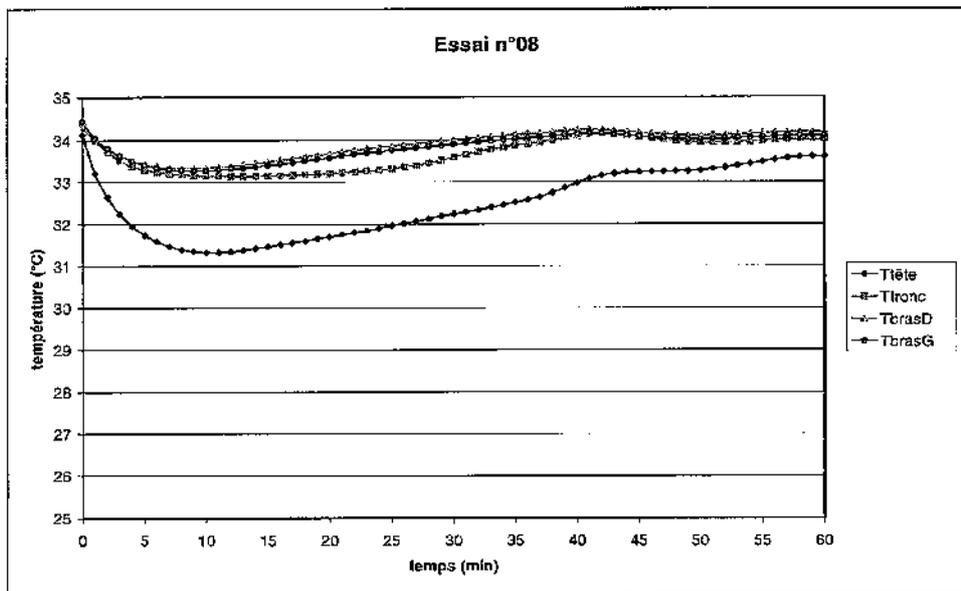
Essai n°5



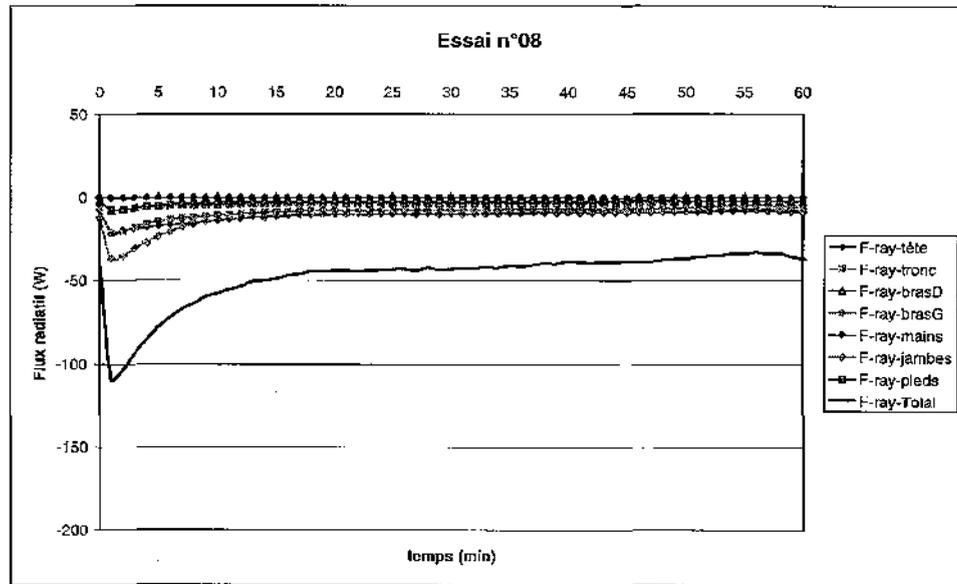
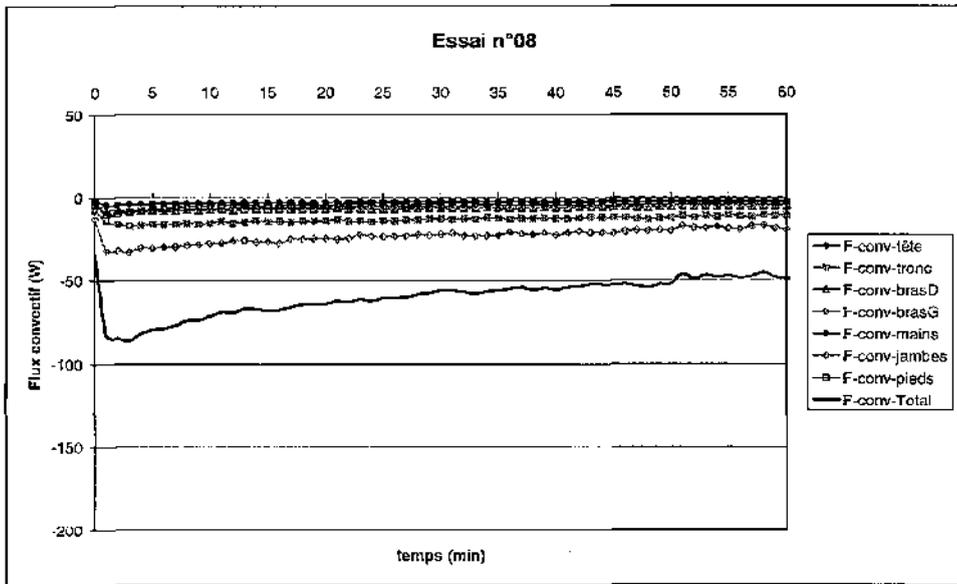
Essai n°5



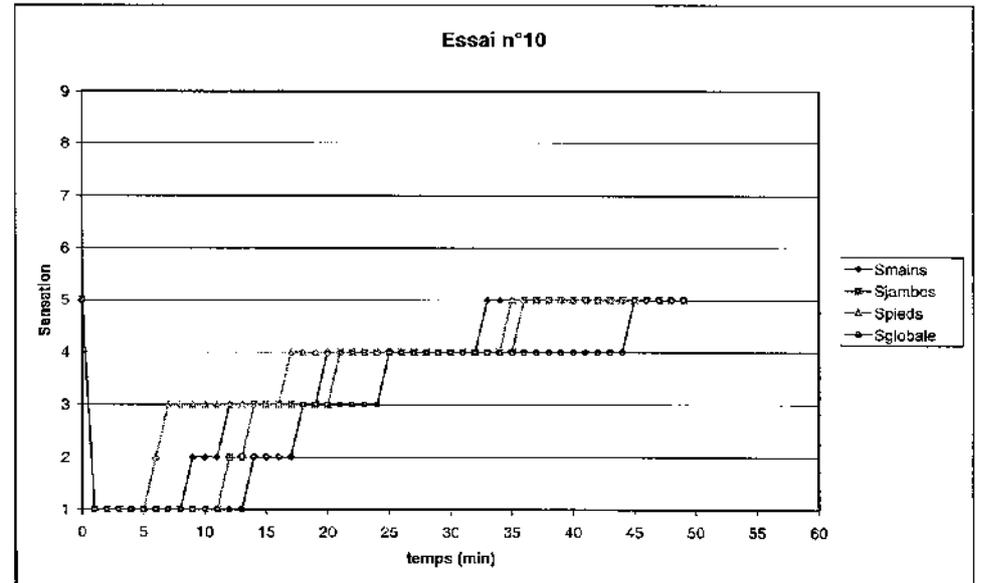
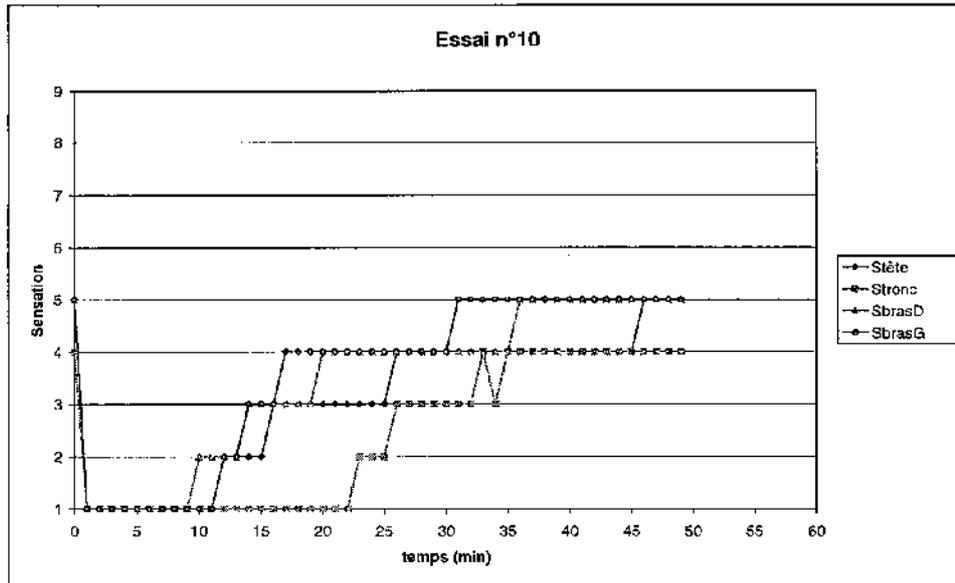
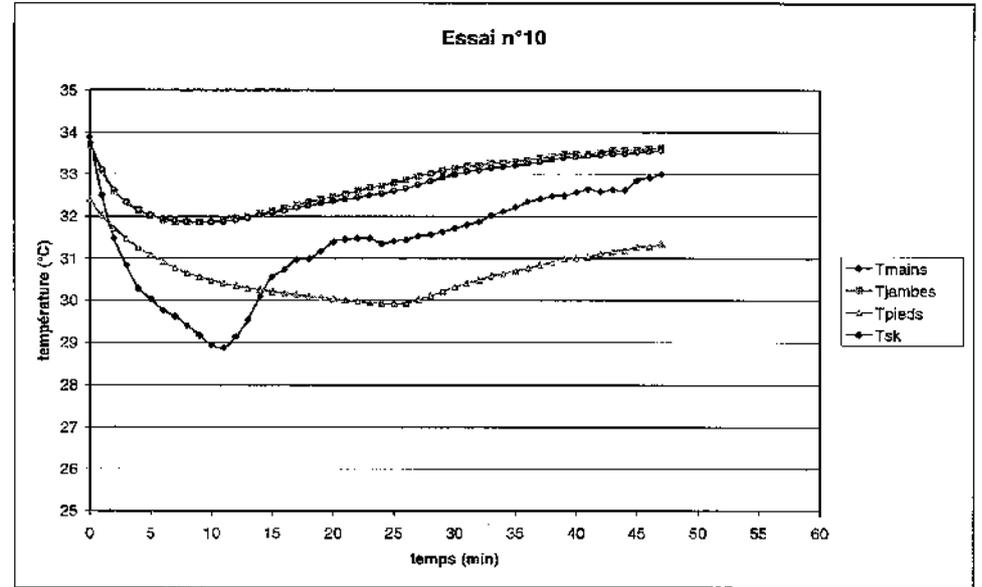
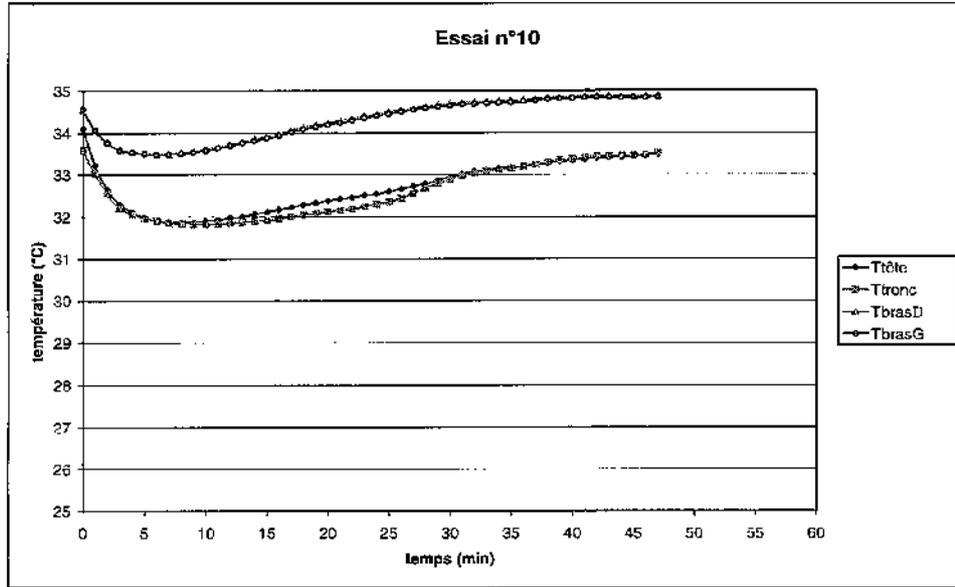
Essai n°8



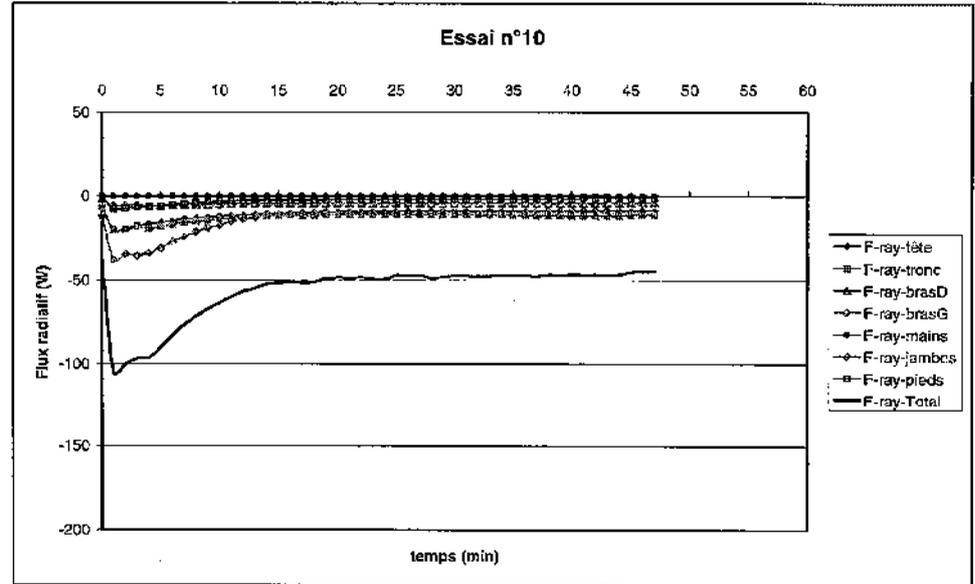
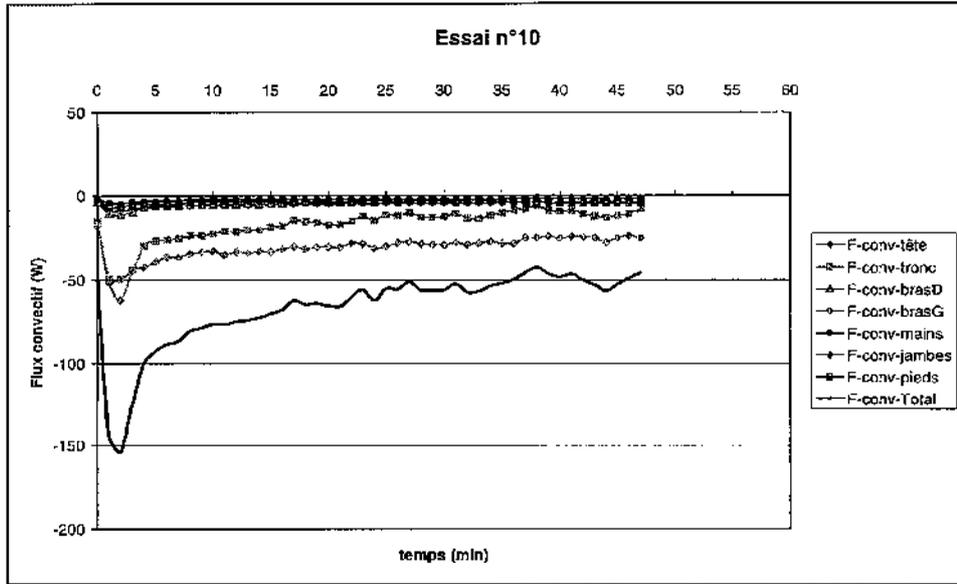
Essai n°8



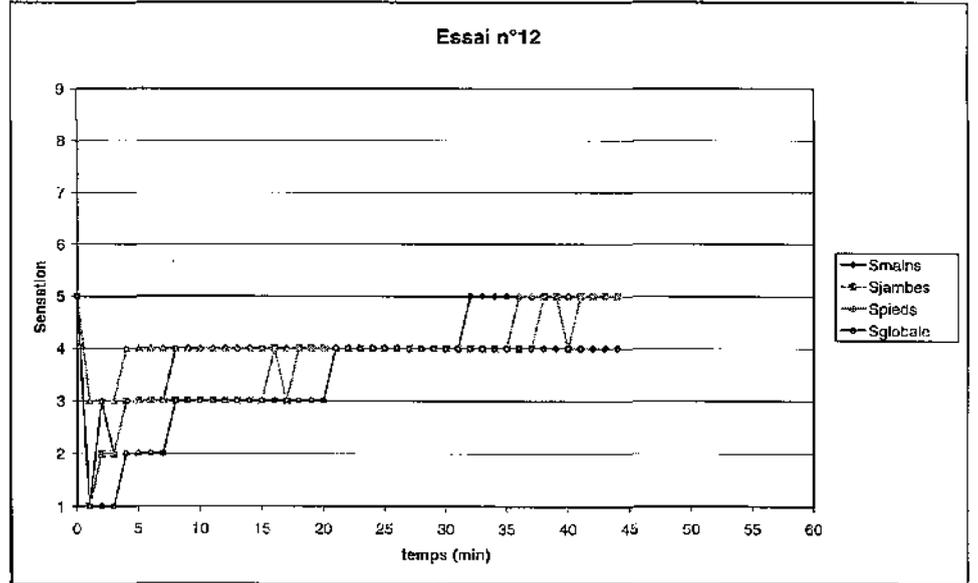
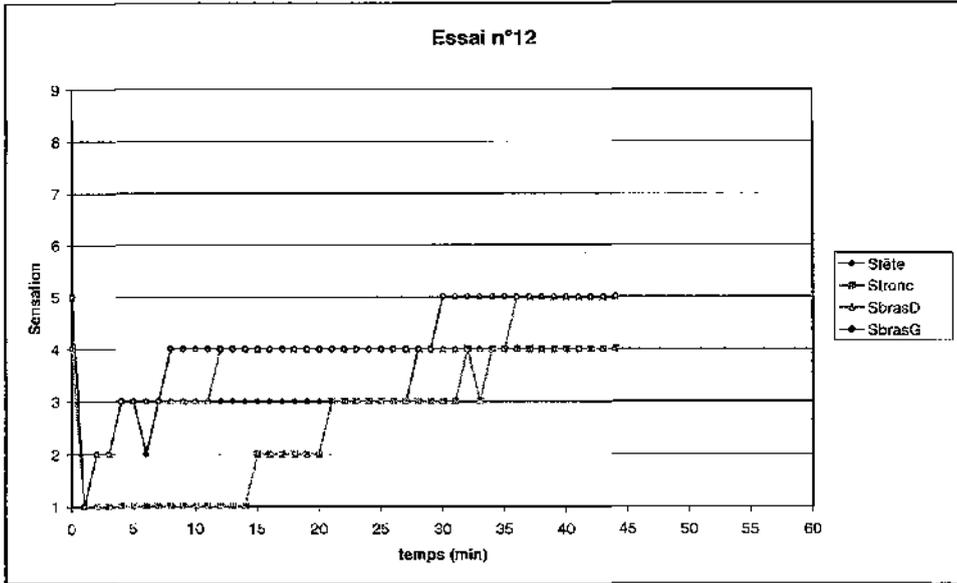
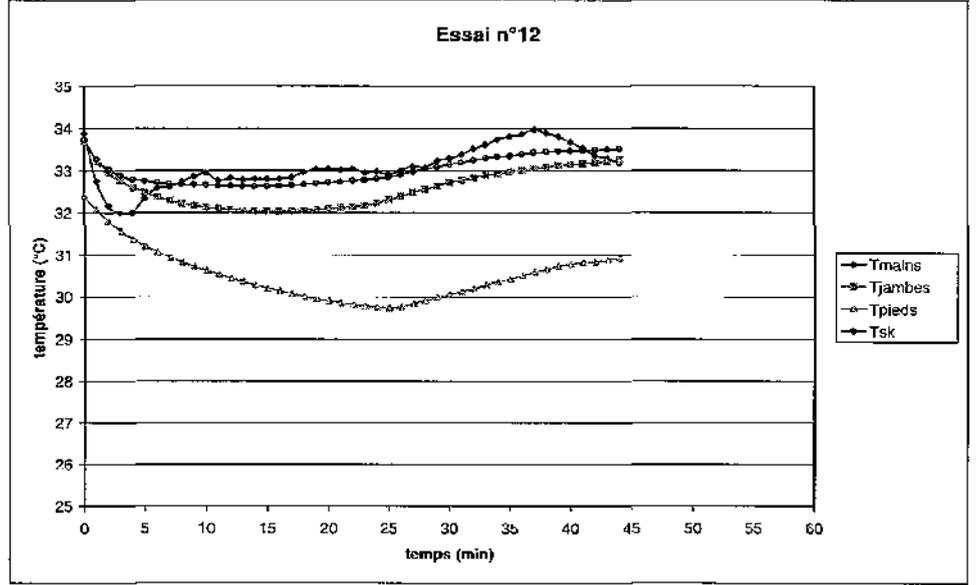
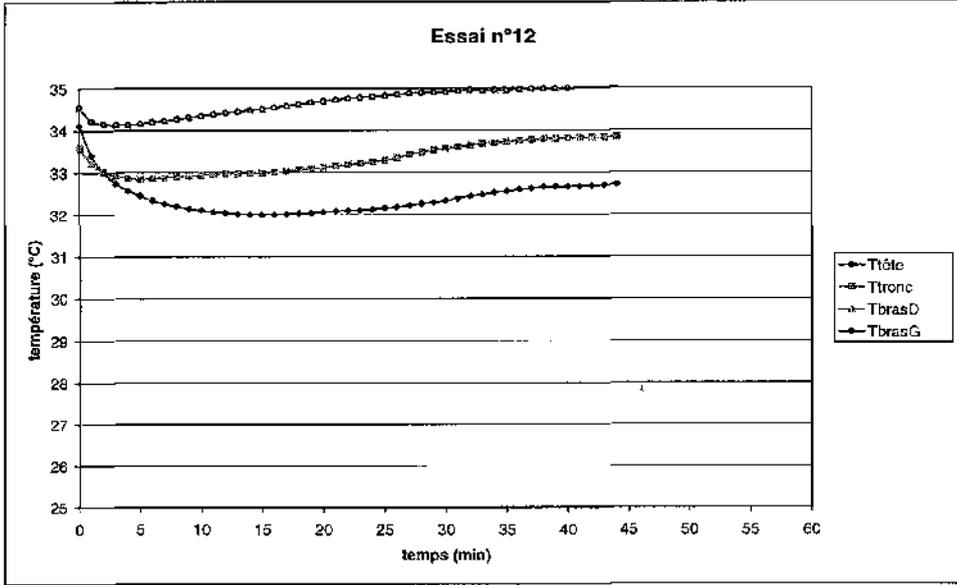
Essai n°10



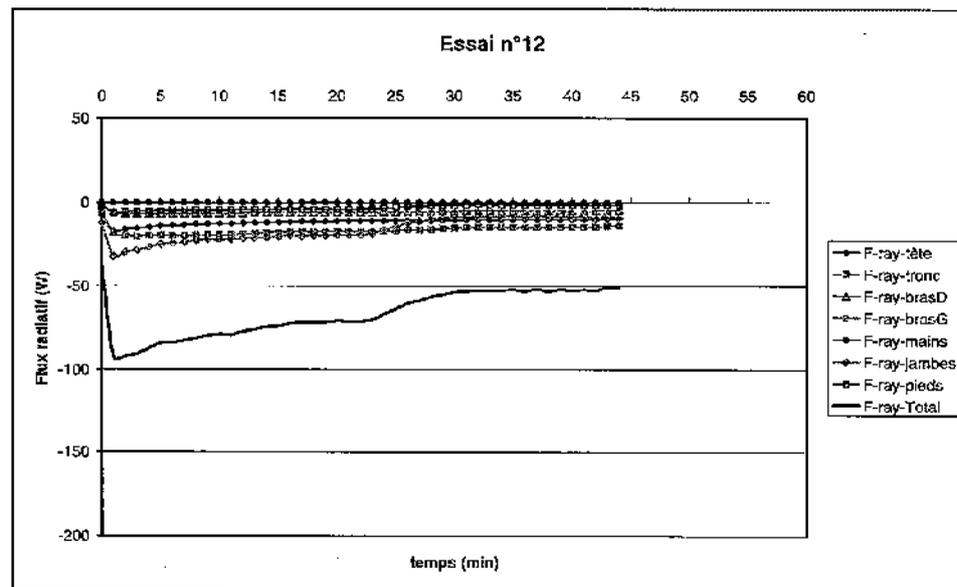
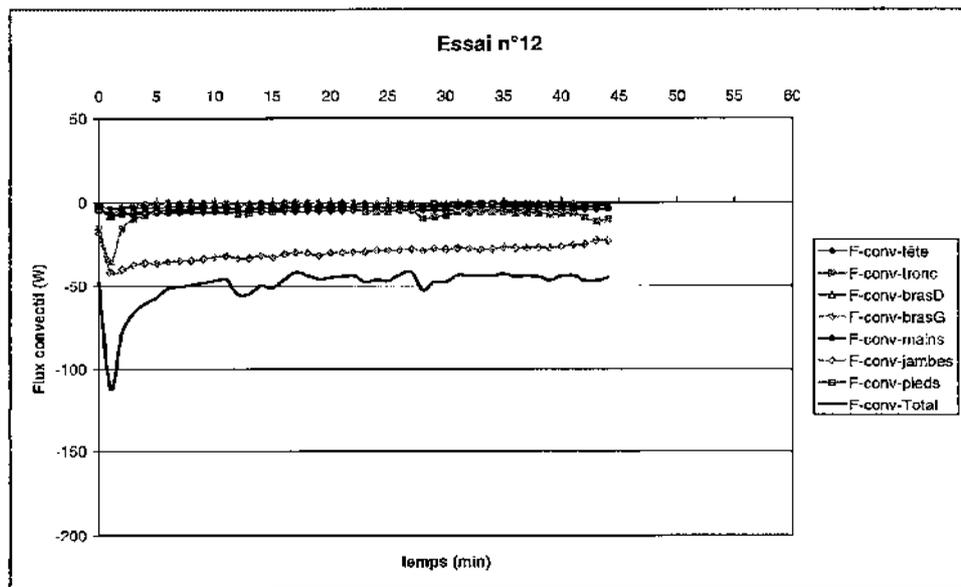
Essai n°10



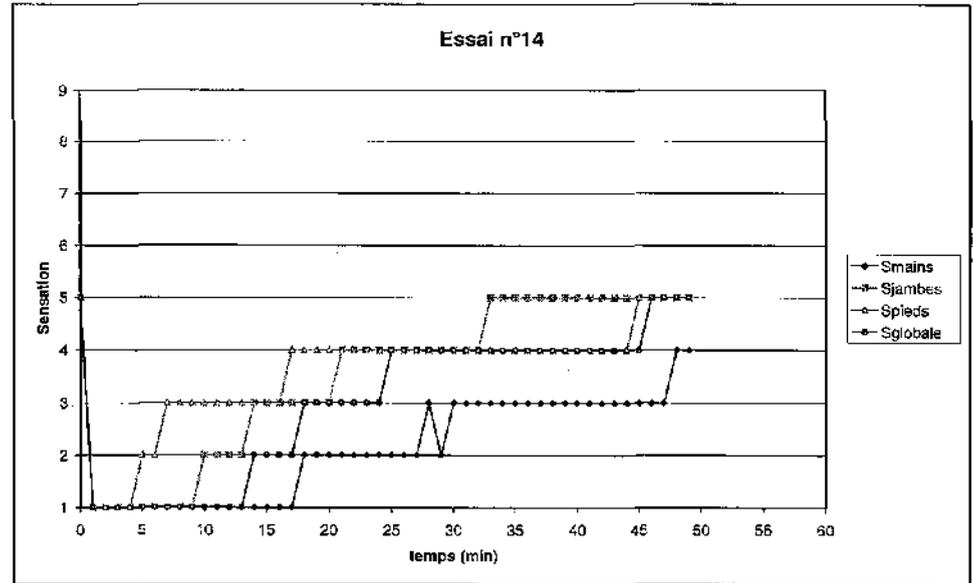
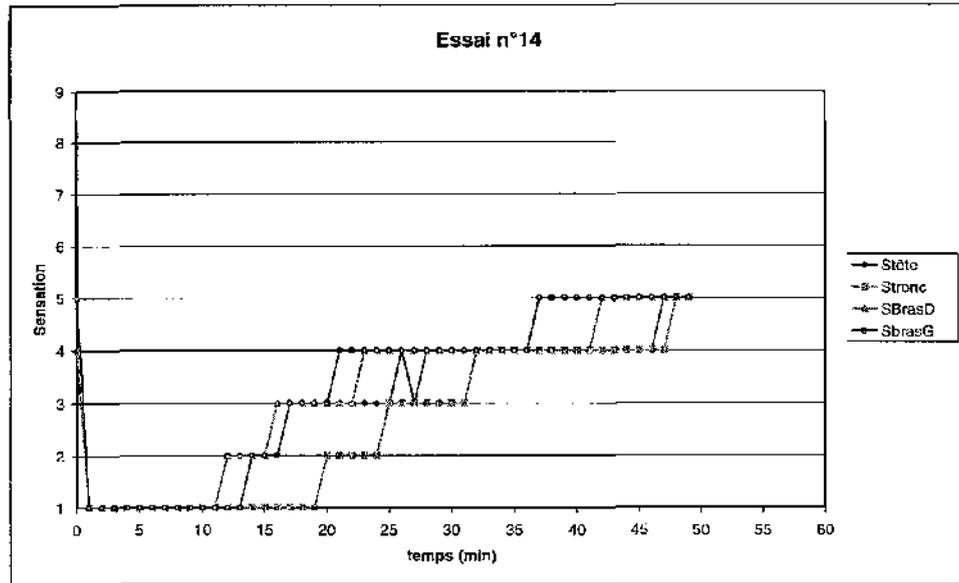
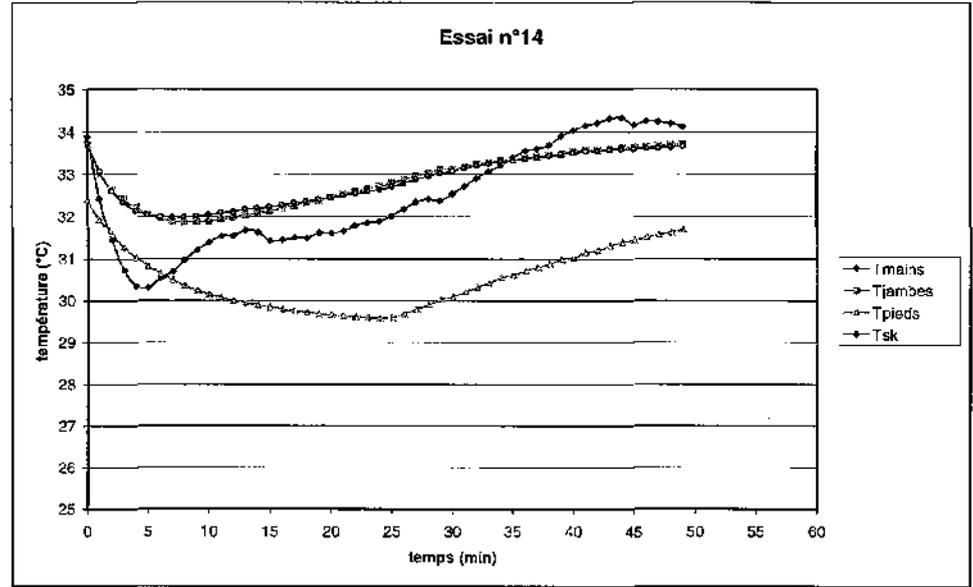
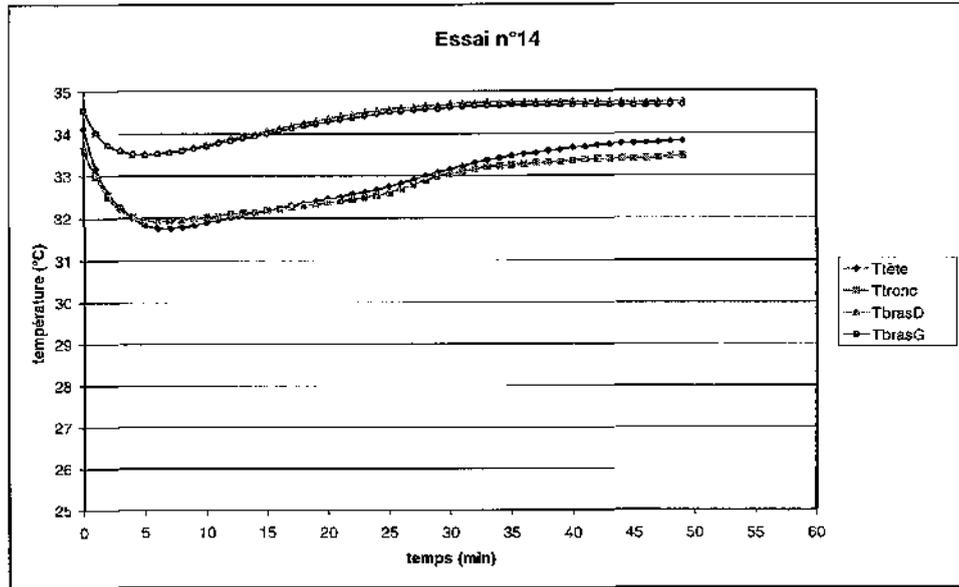
Essai n°12



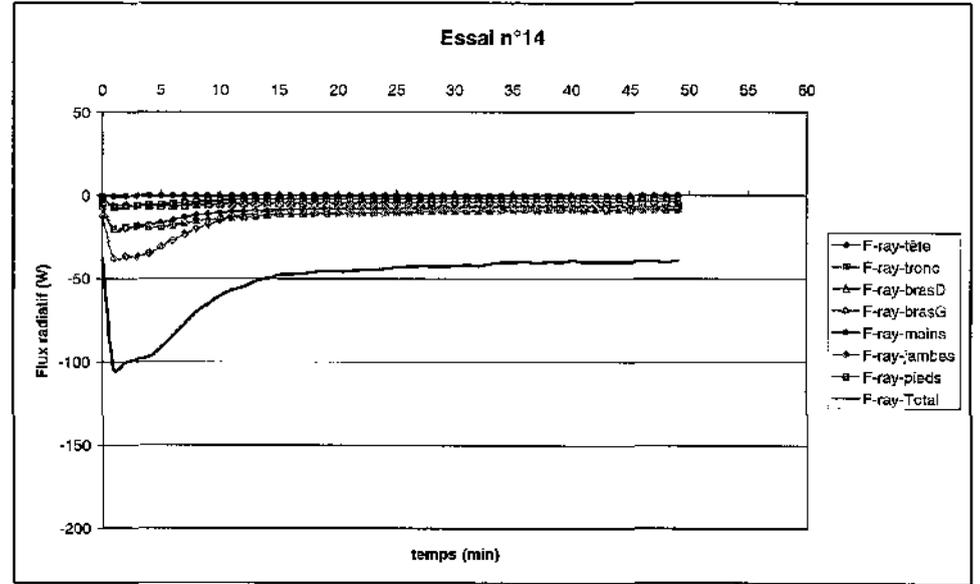
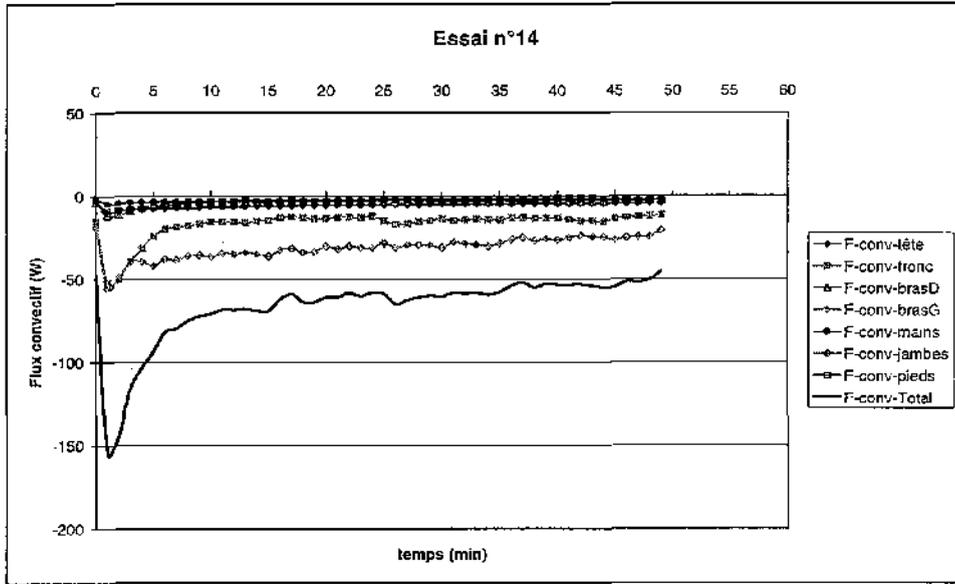
Essai n°12



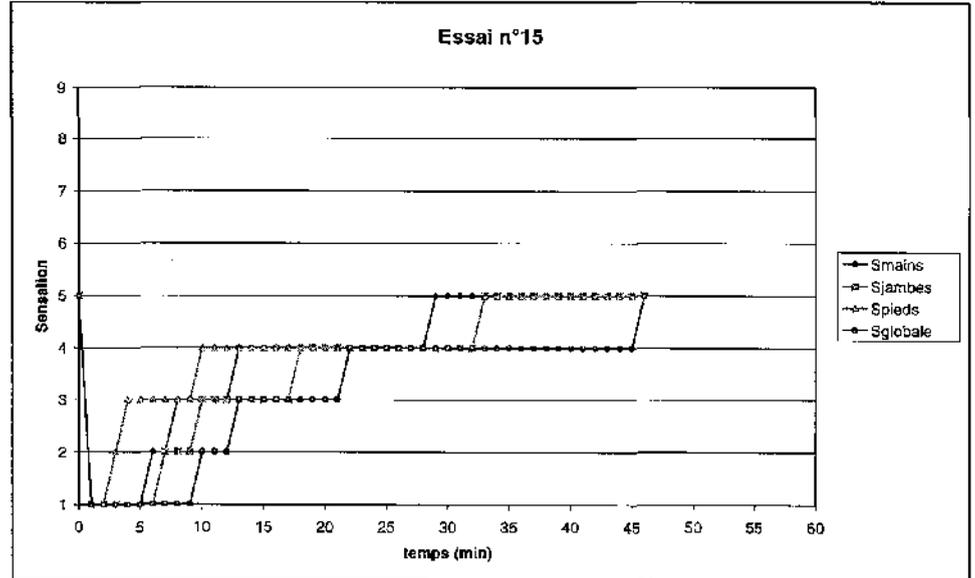
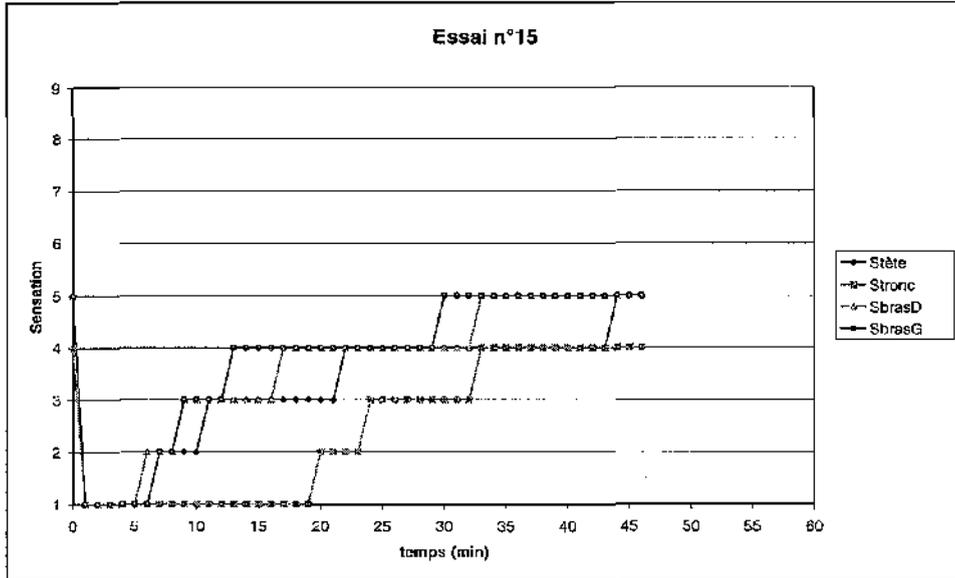
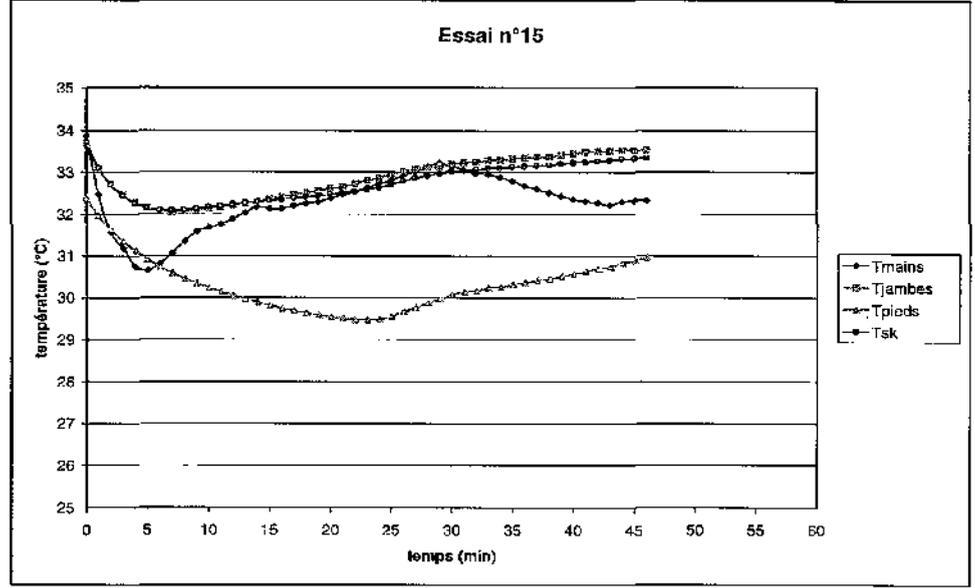
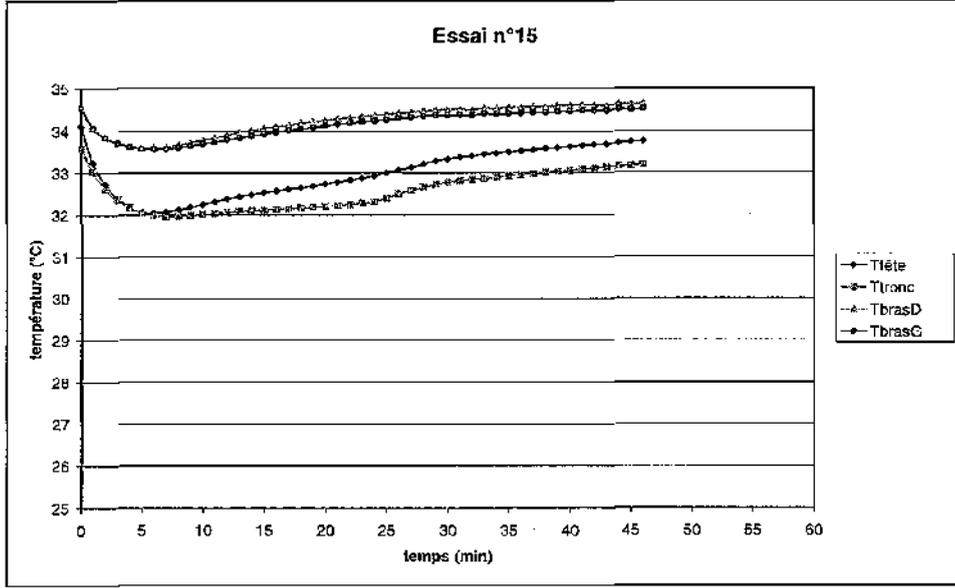
Essai n°14



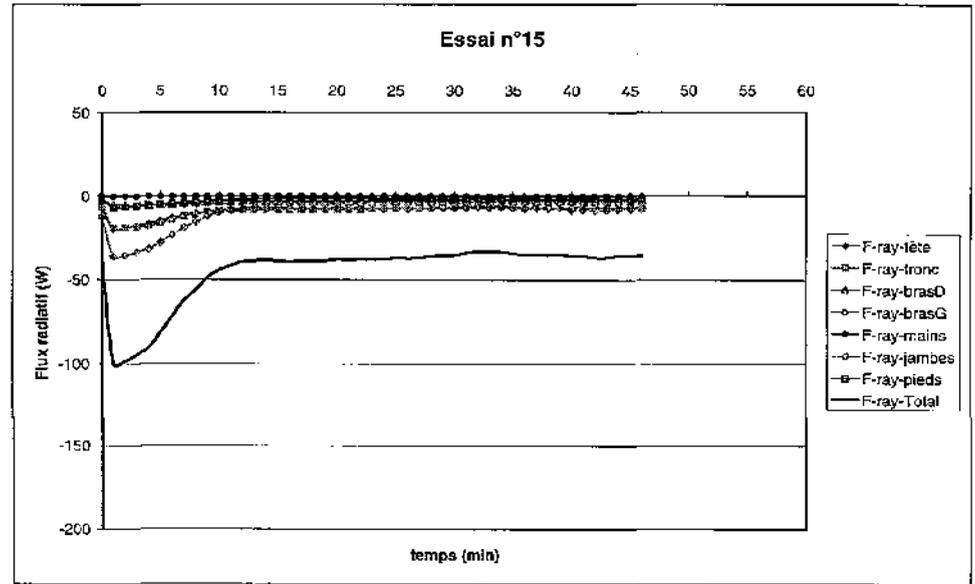
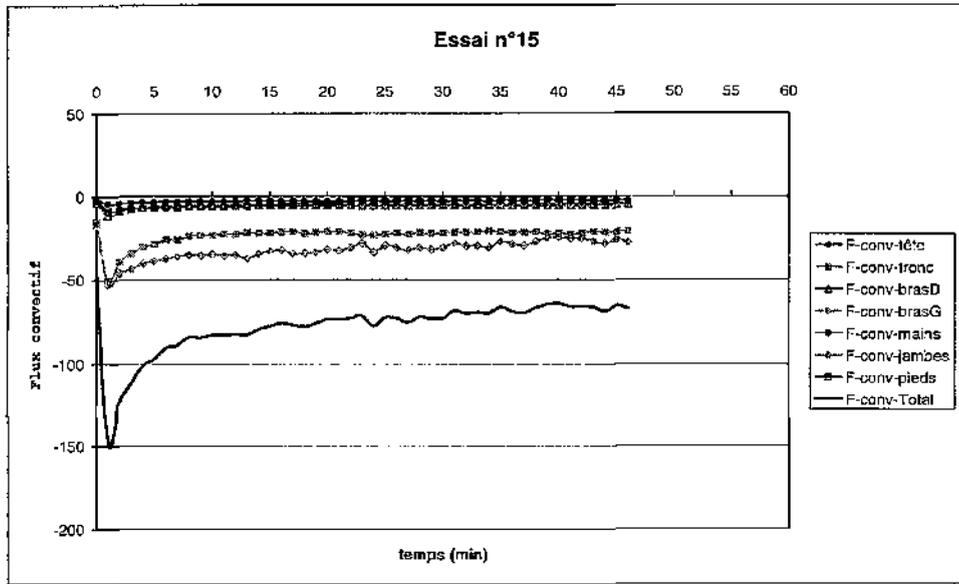
Essai n°14



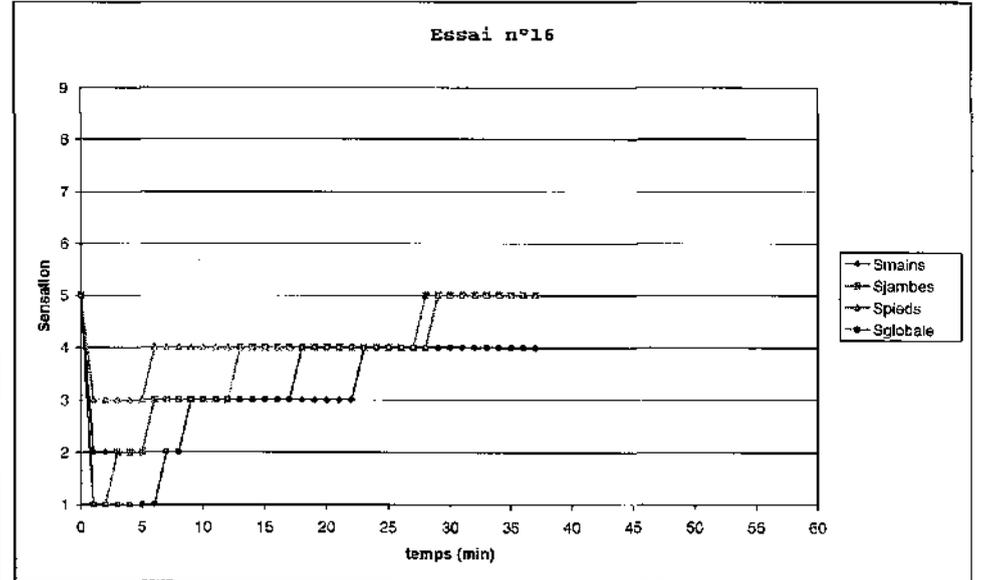
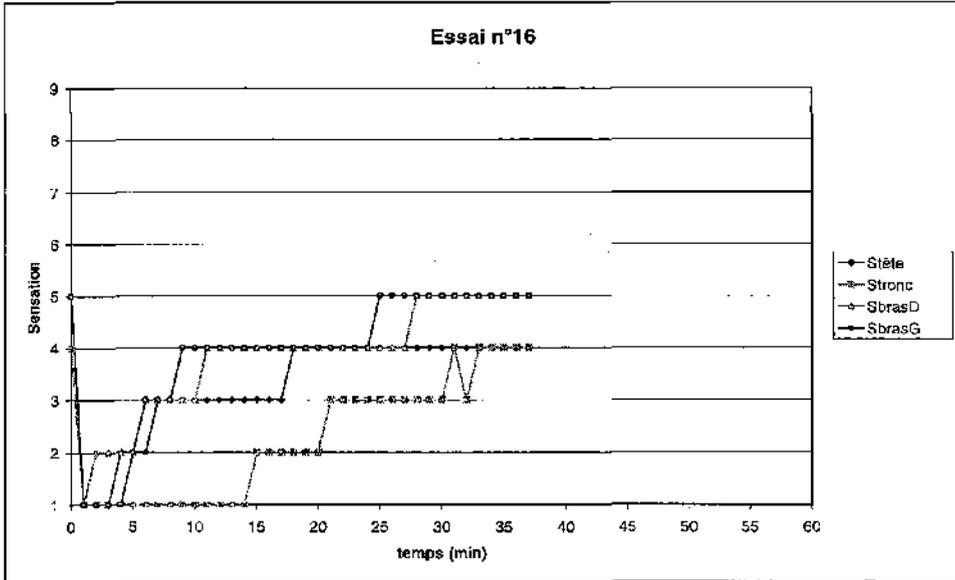
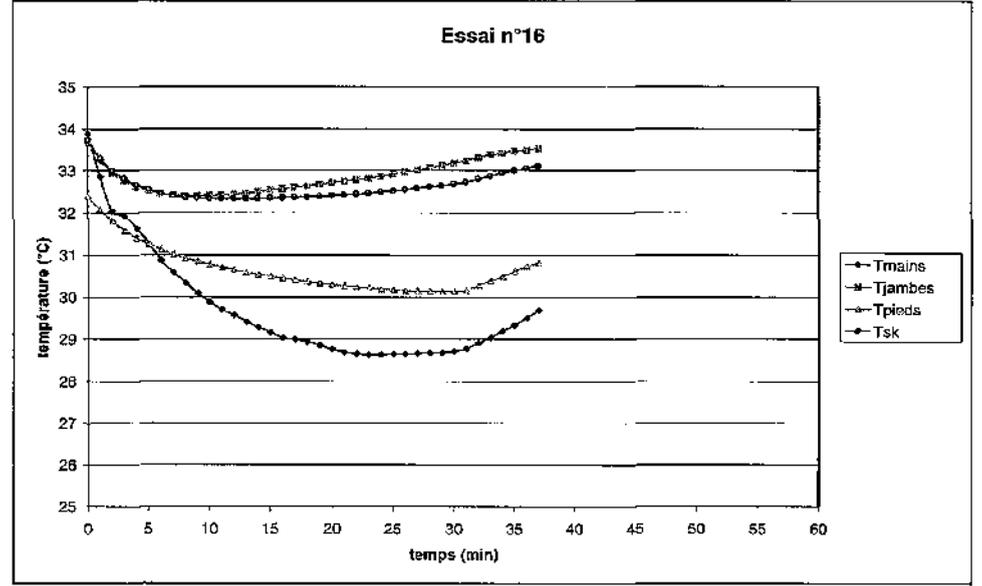
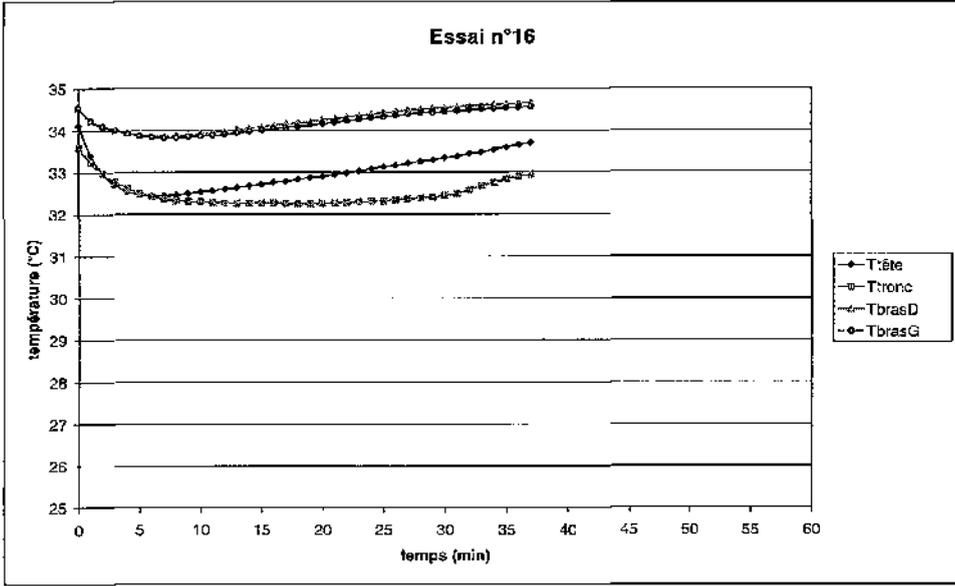
Essai n°15



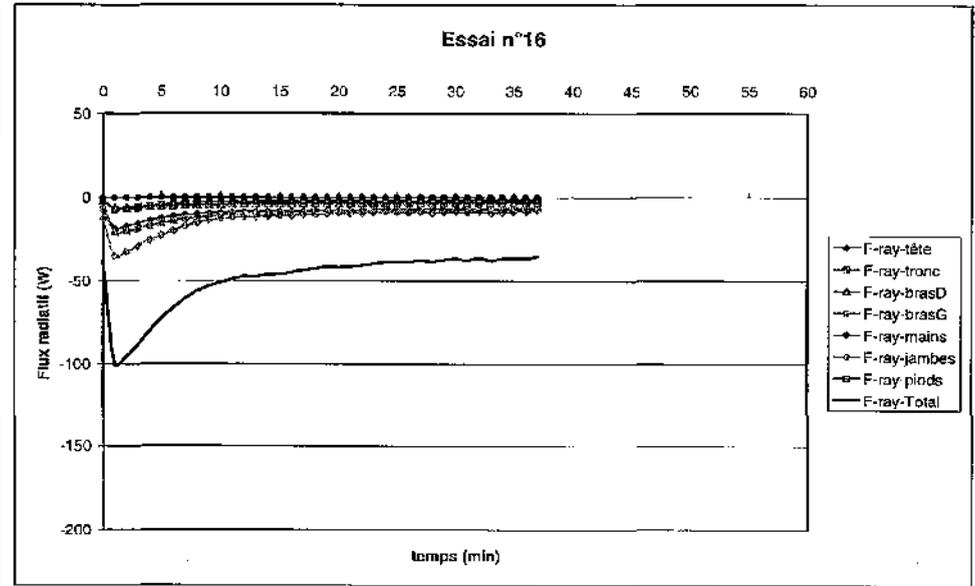
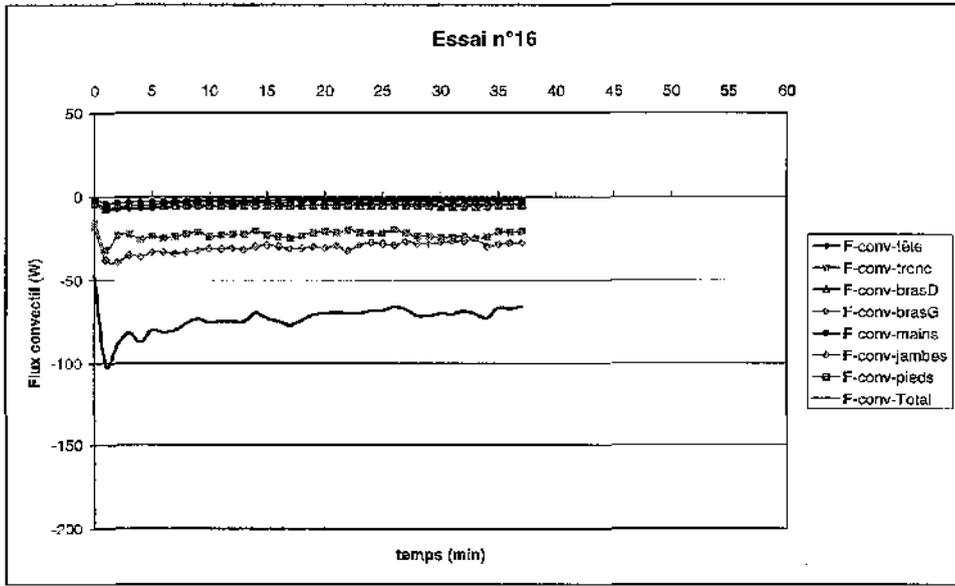
Essai n°15



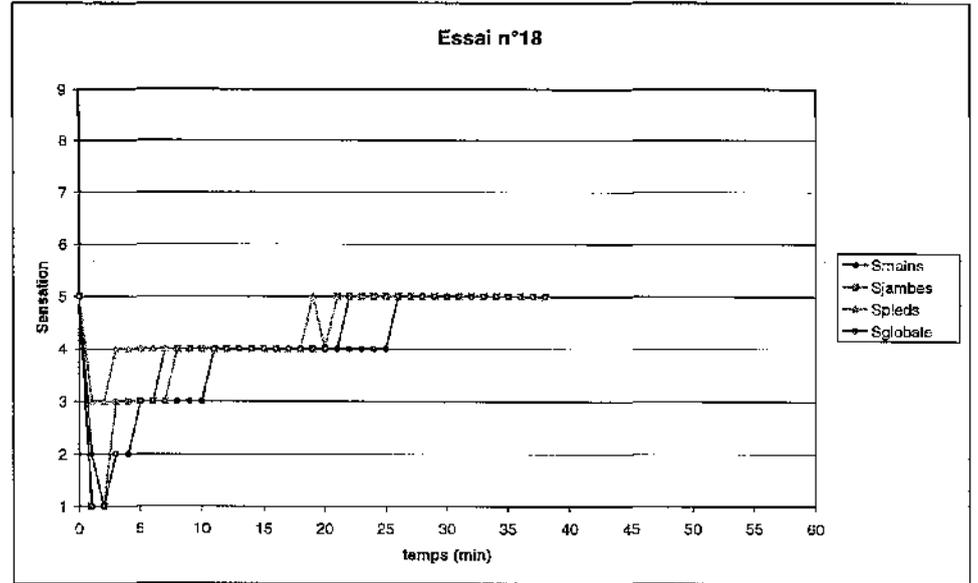
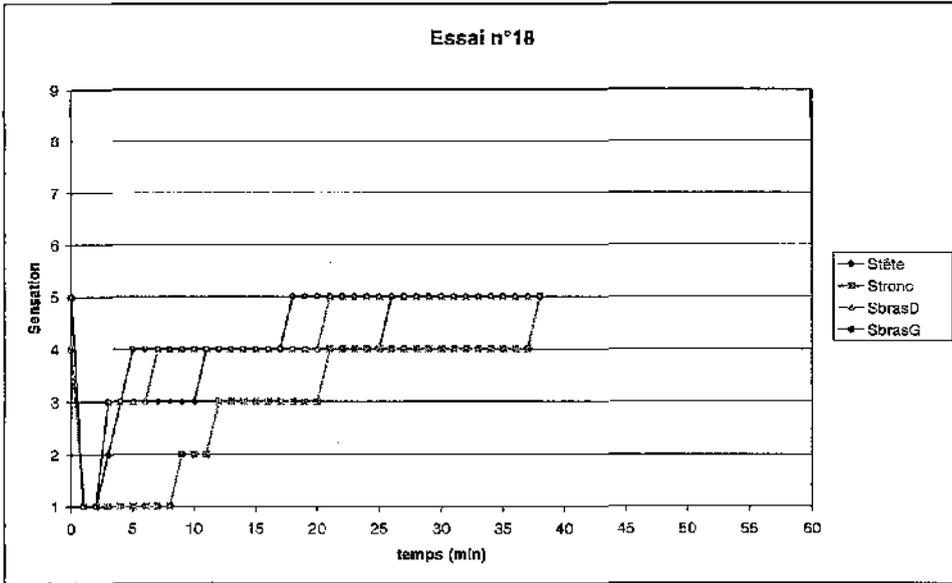
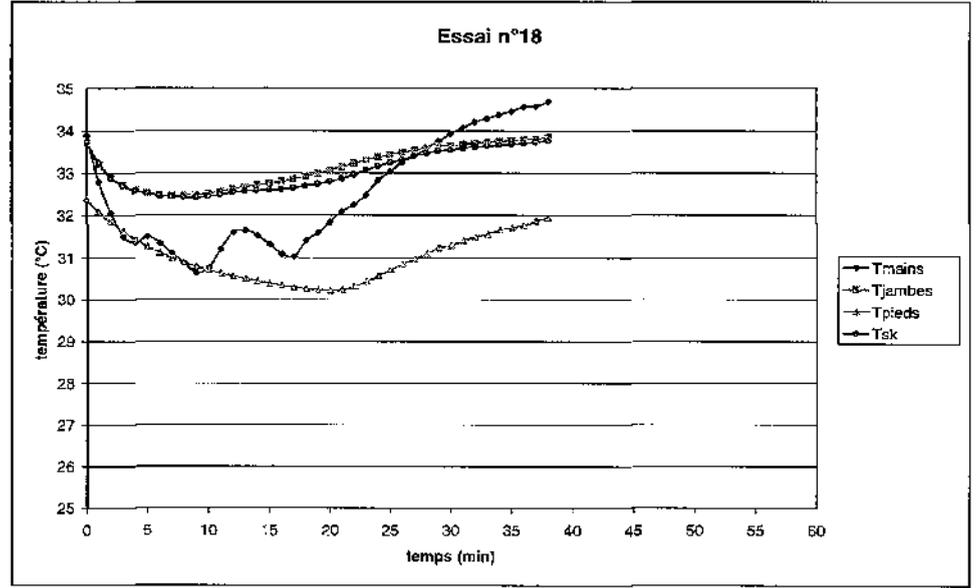
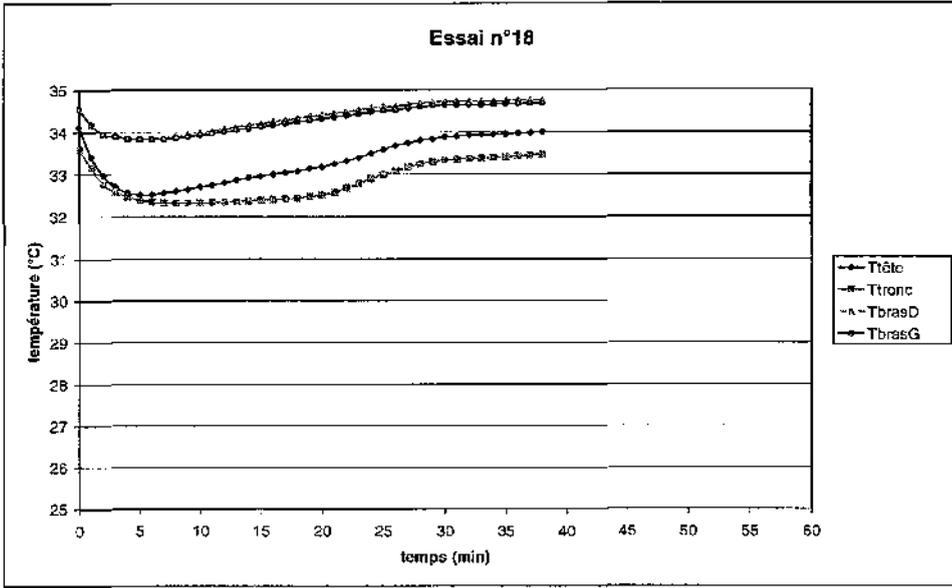
Essai n°16



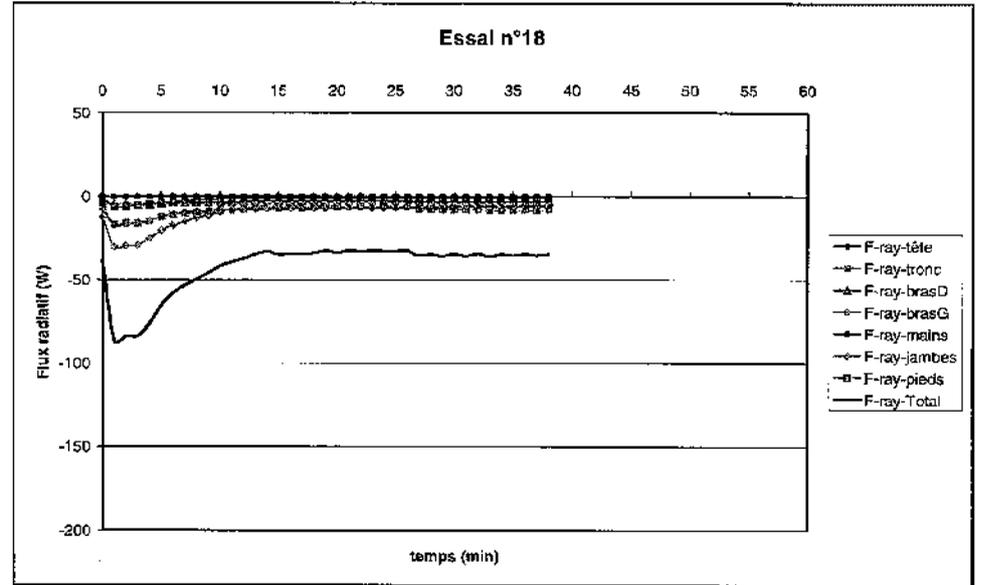
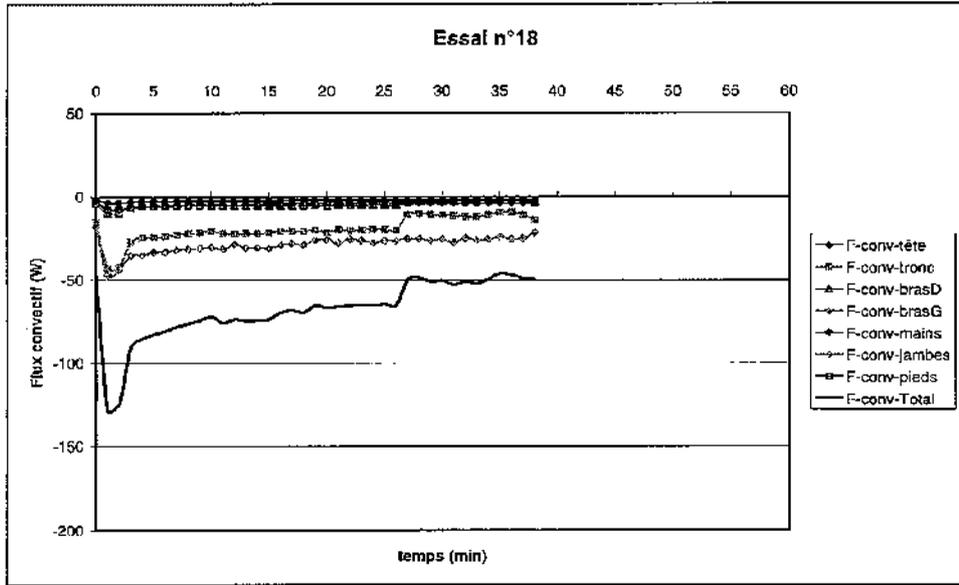
Essai n°16



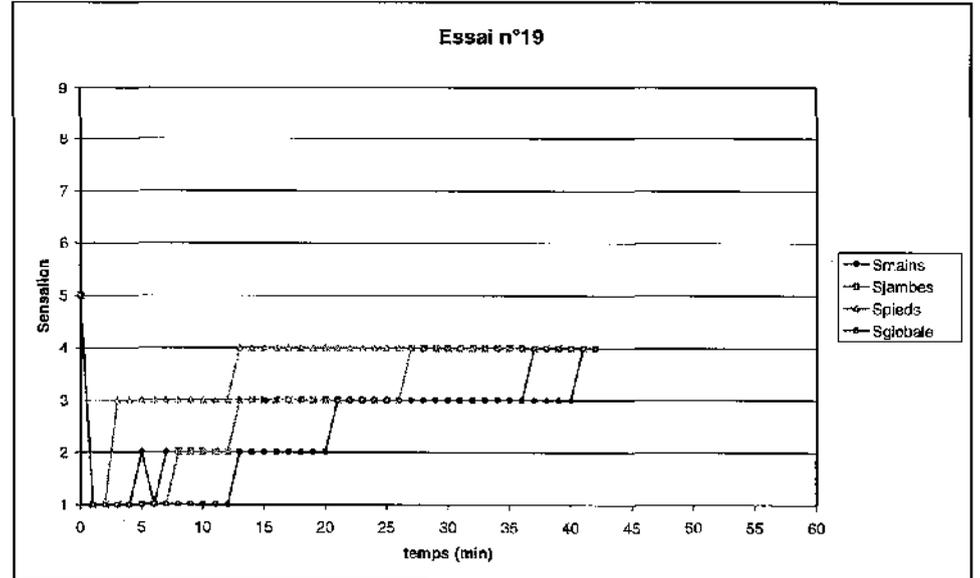
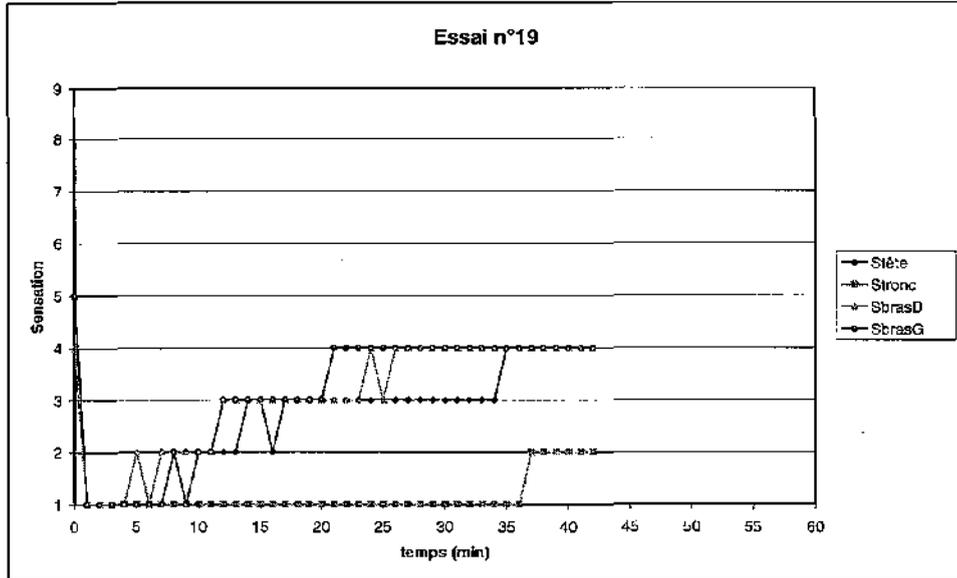
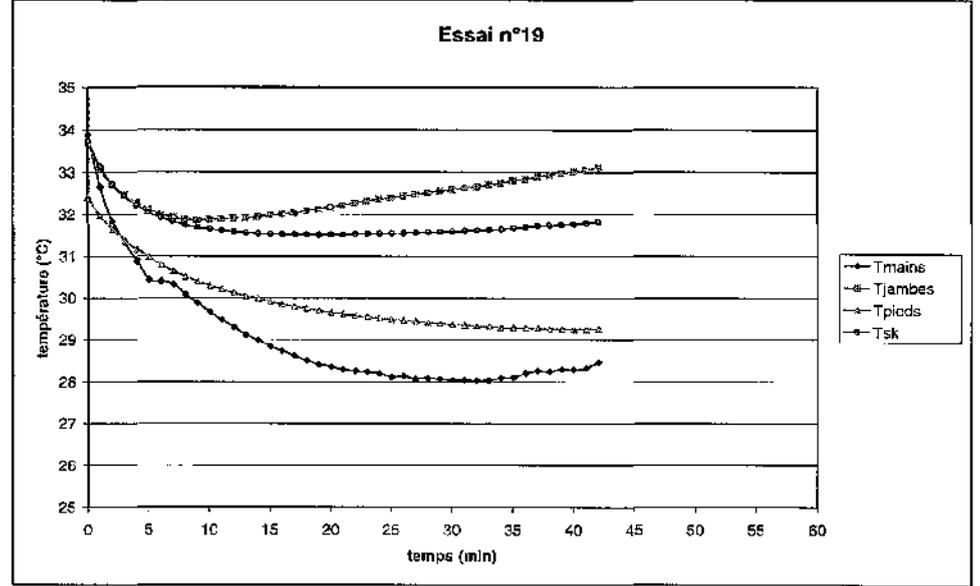
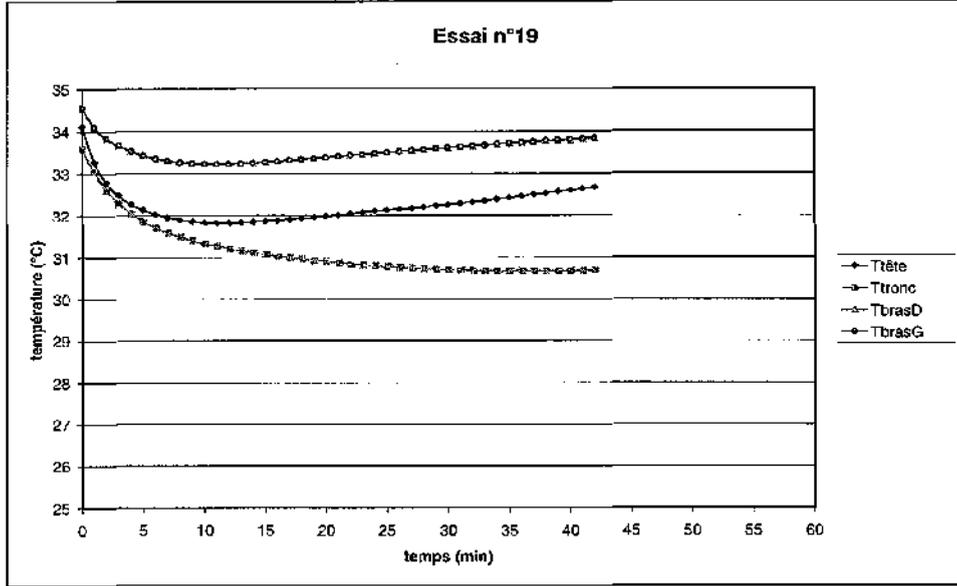
Essai n°18



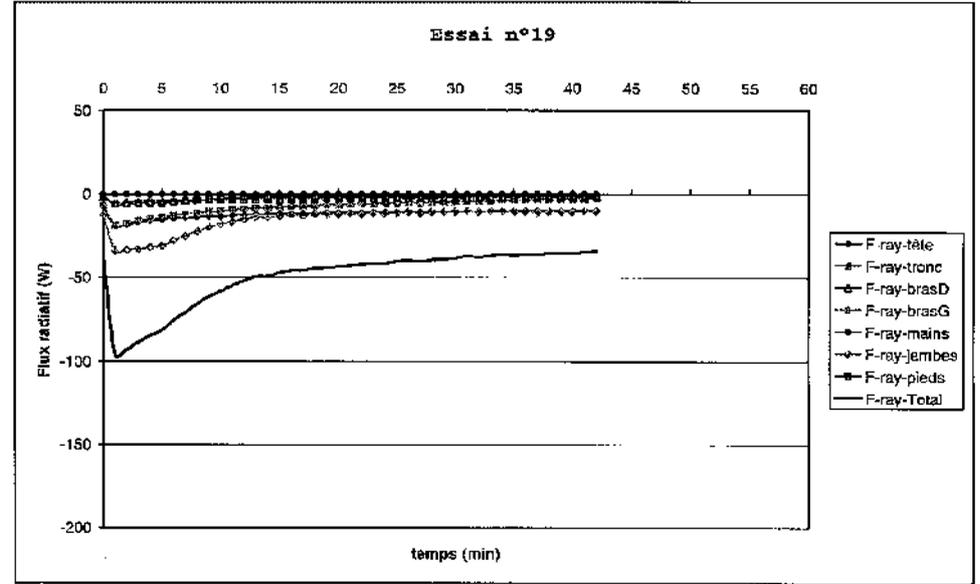
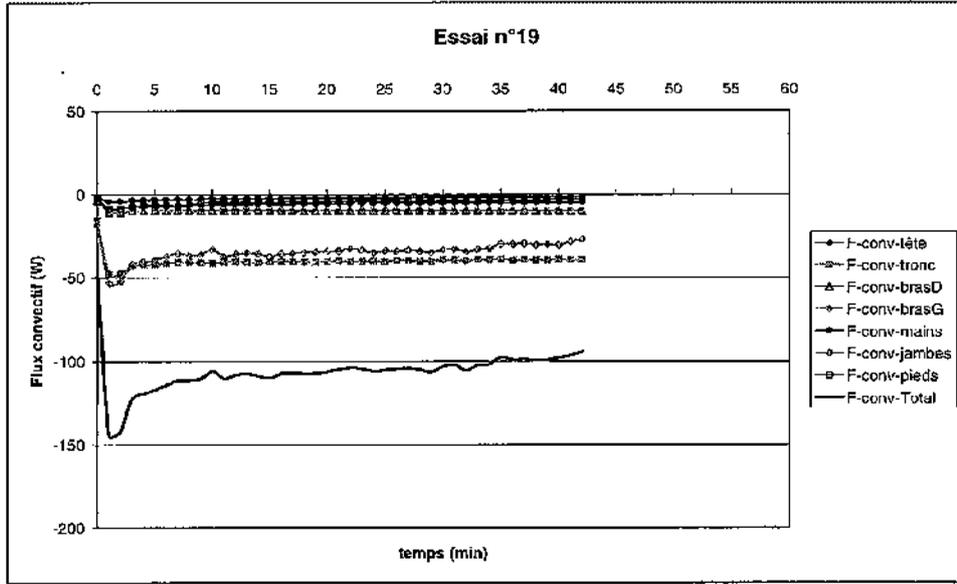
Essai n°18



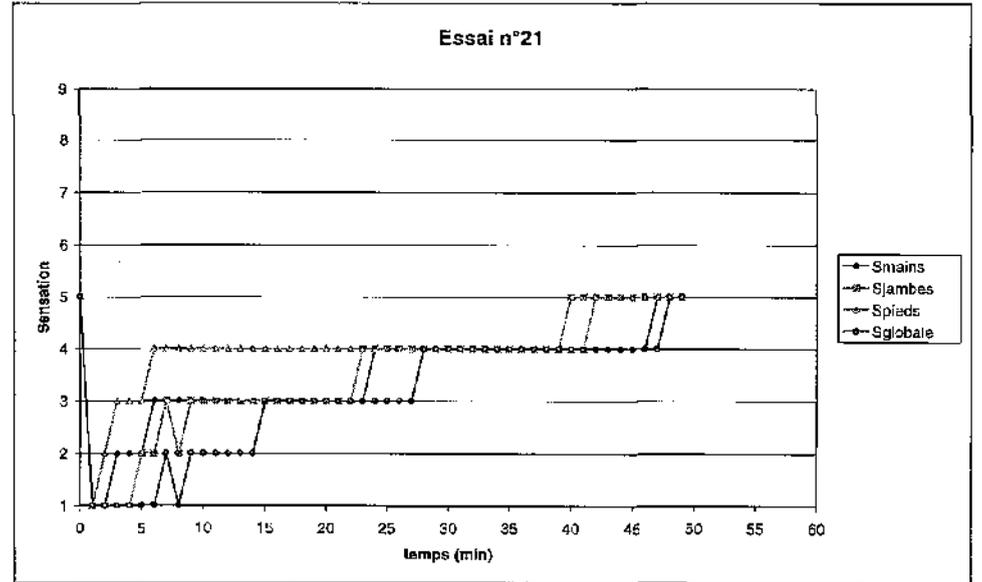
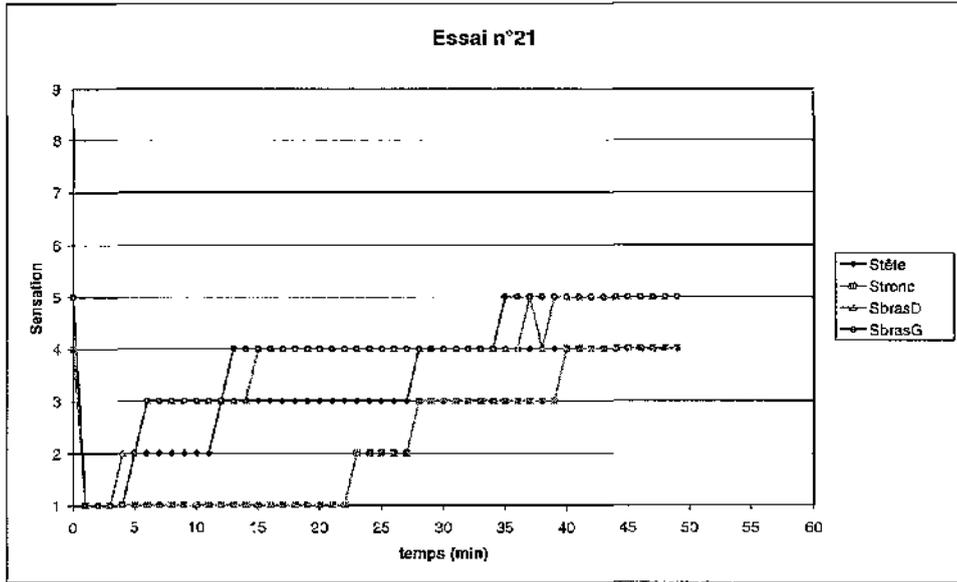
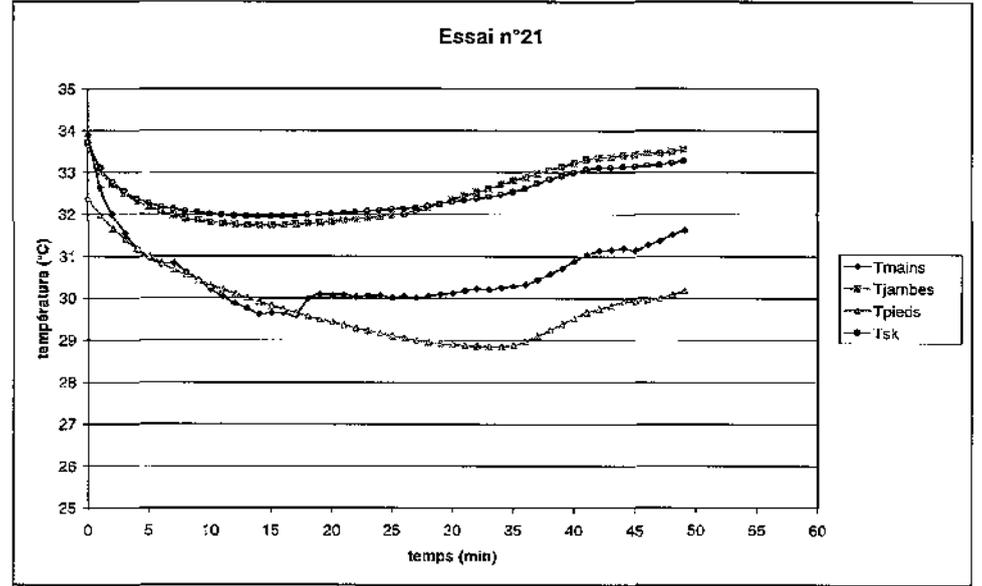
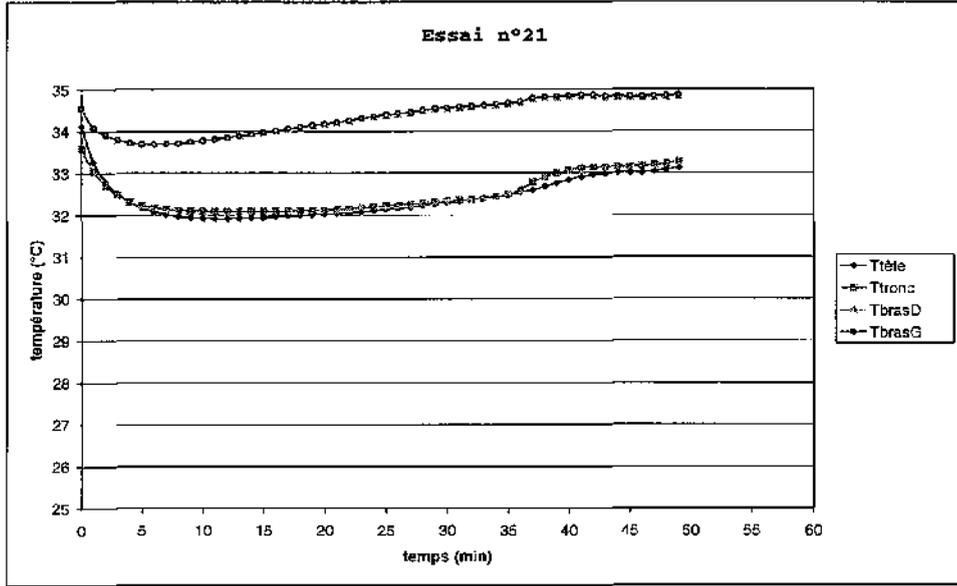
Essai n°19



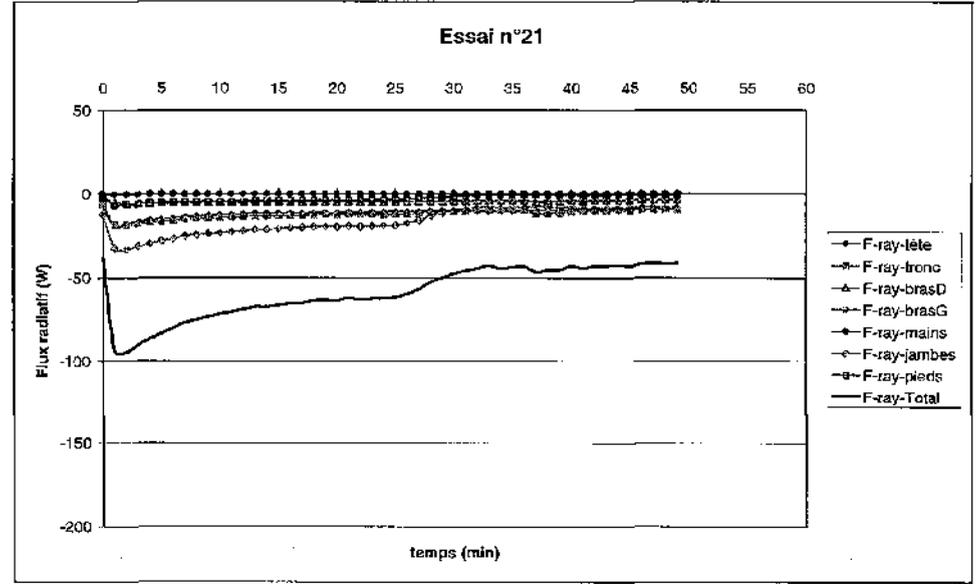
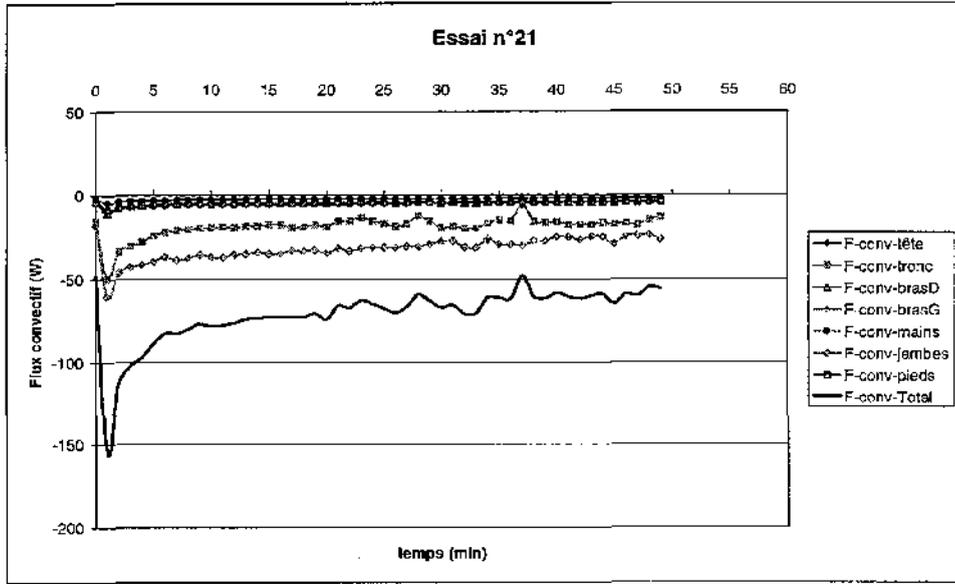
Essai n°19



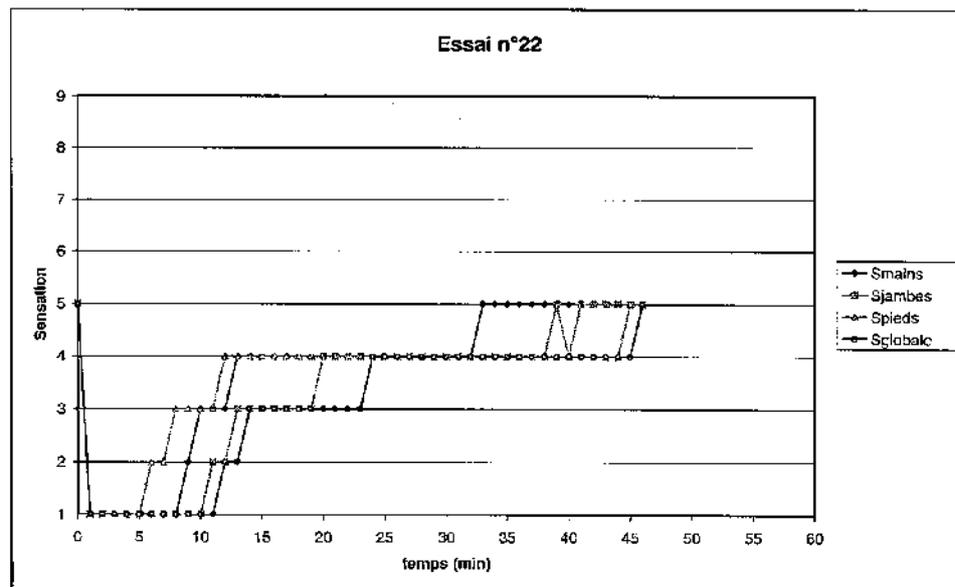
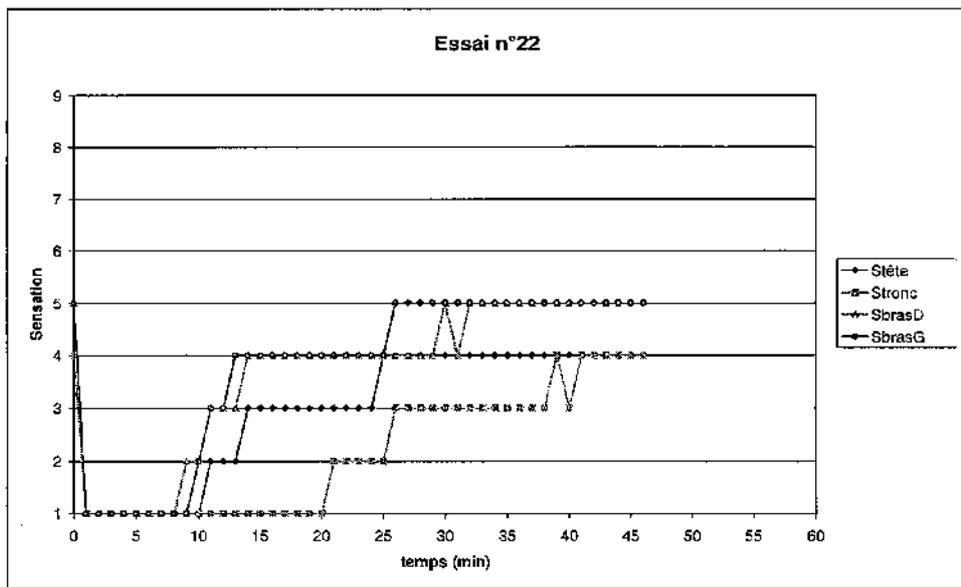
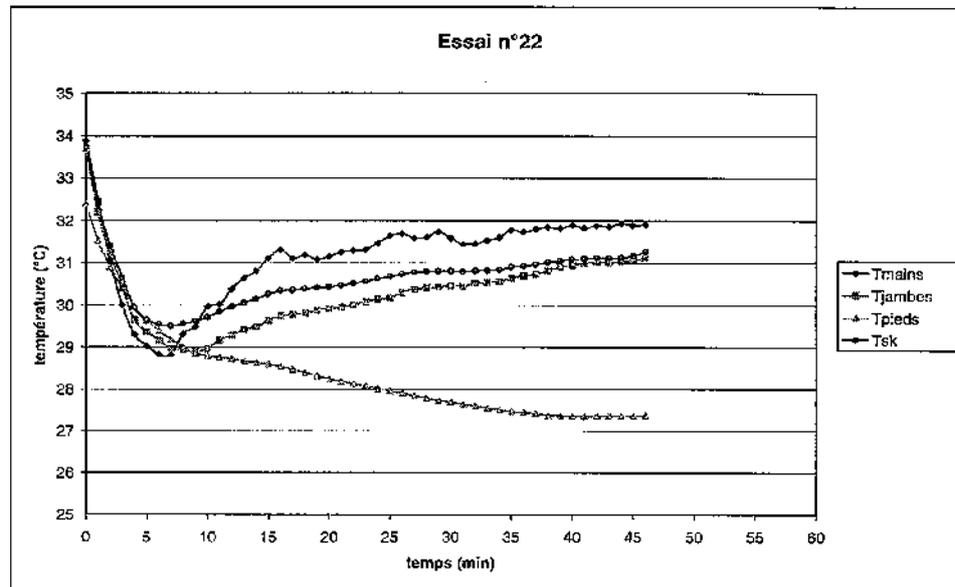
Essai n°21



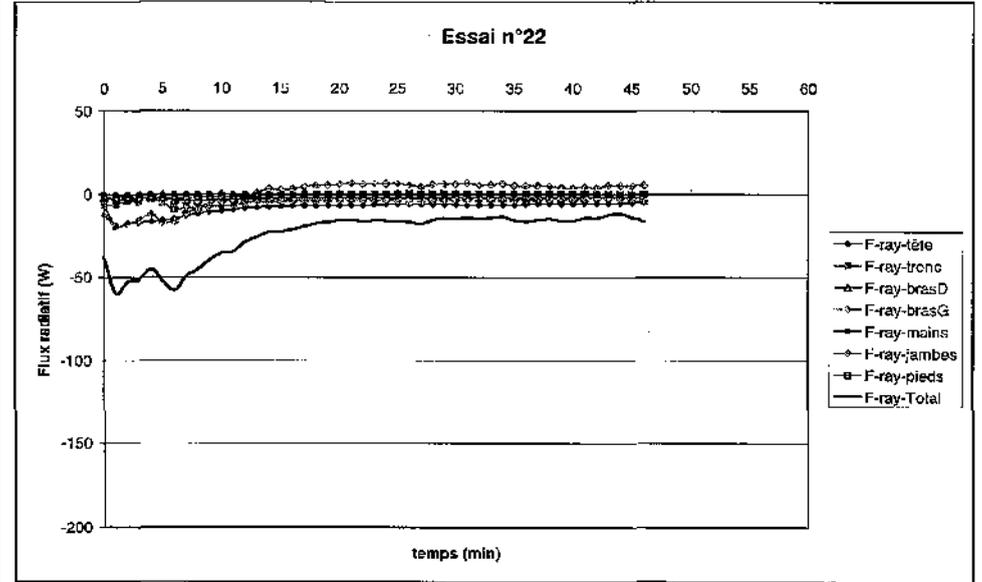
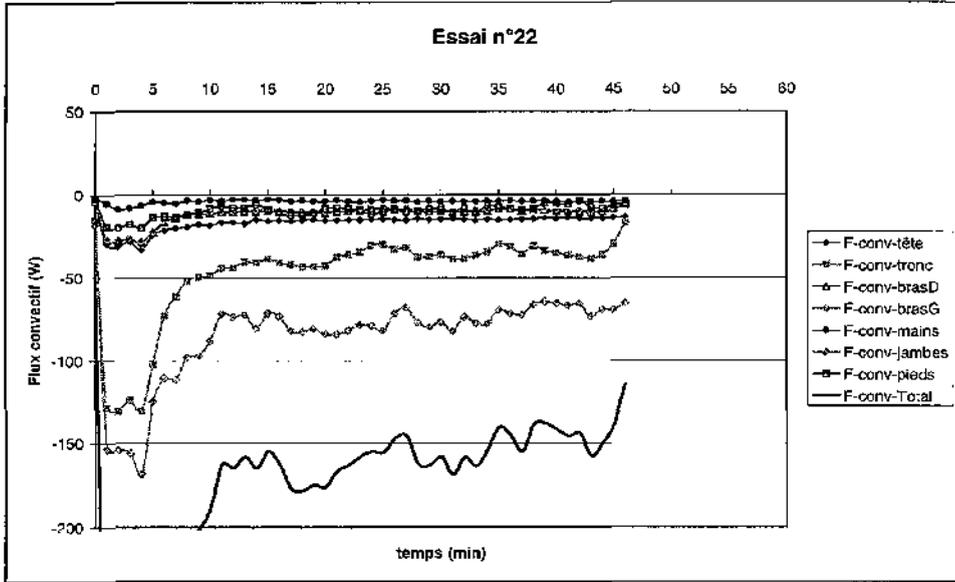
Essai n°21



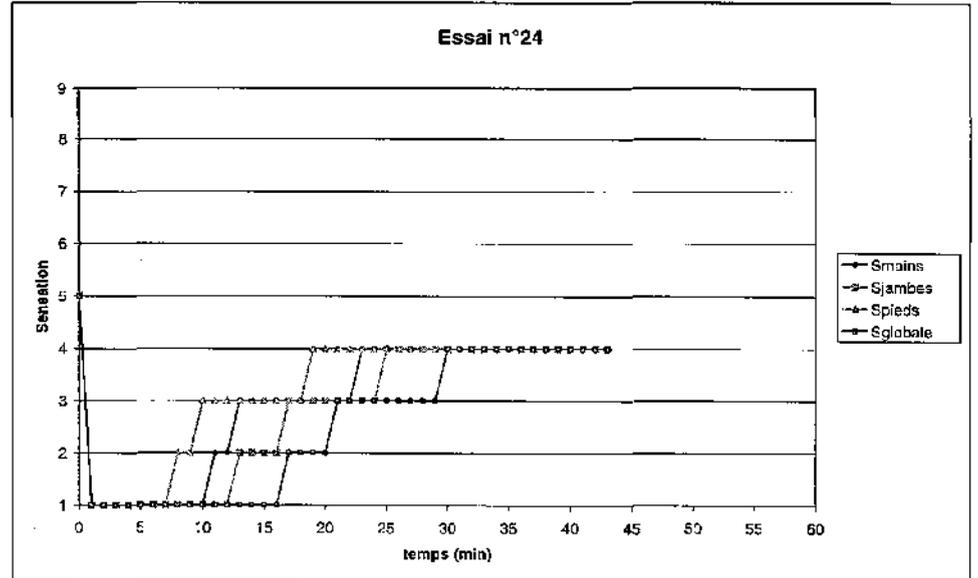
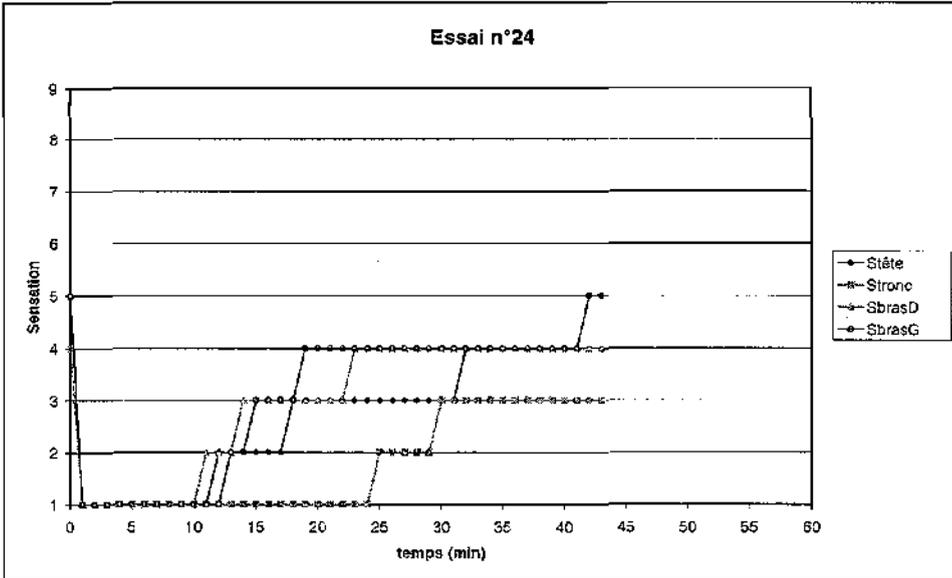
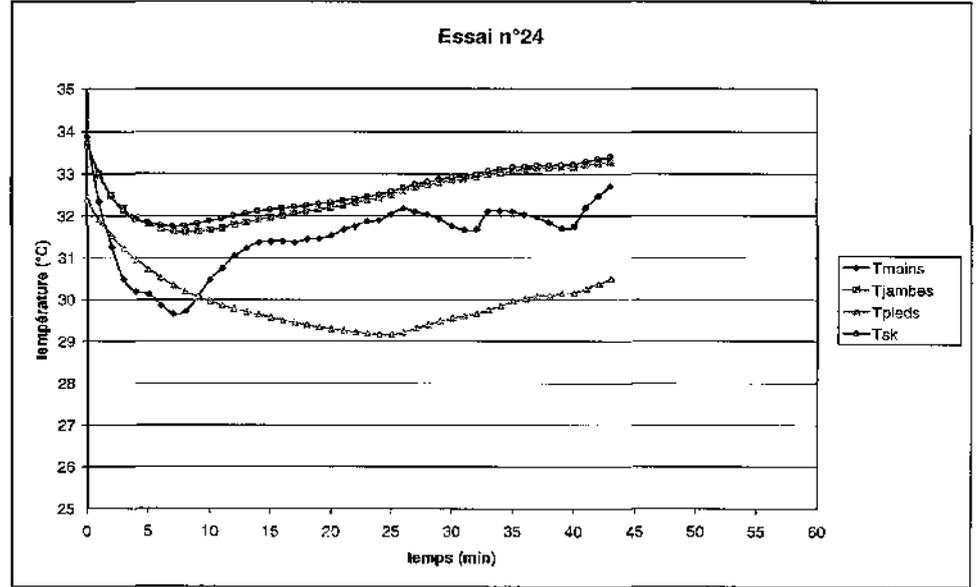
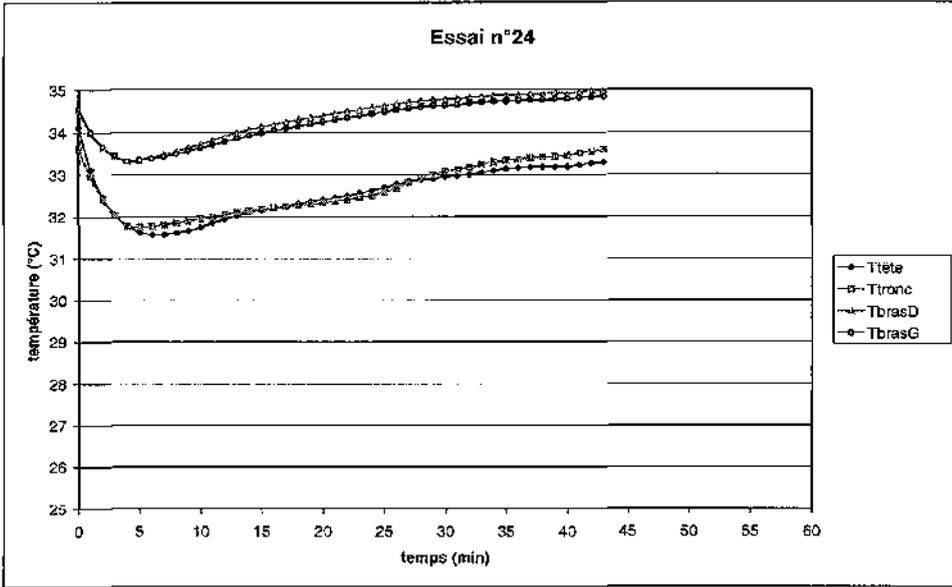
Essai n°22



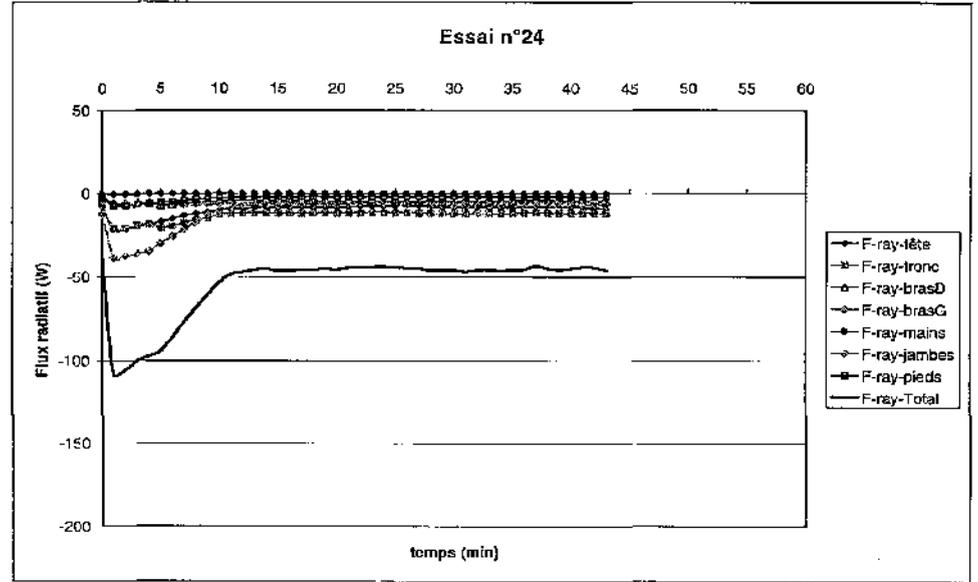
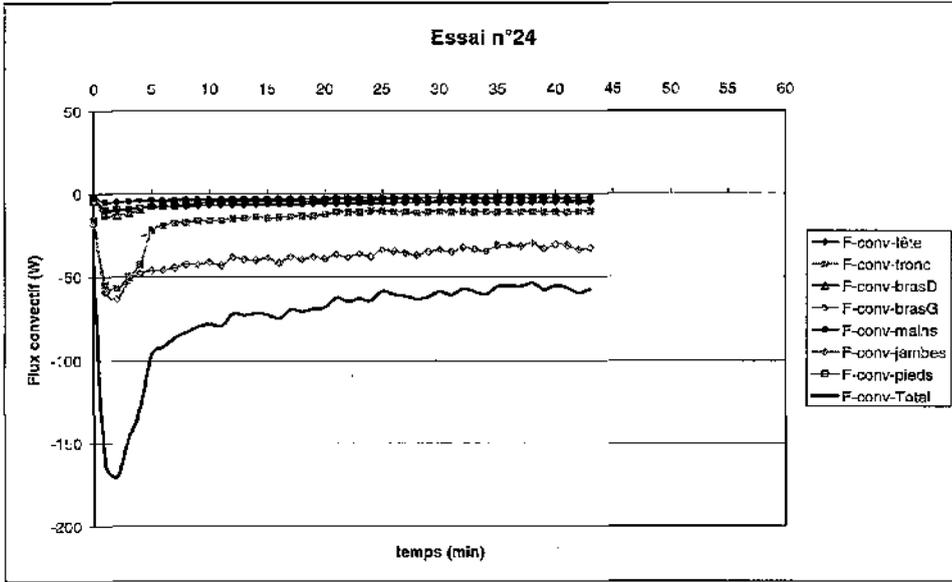
Essai n°22



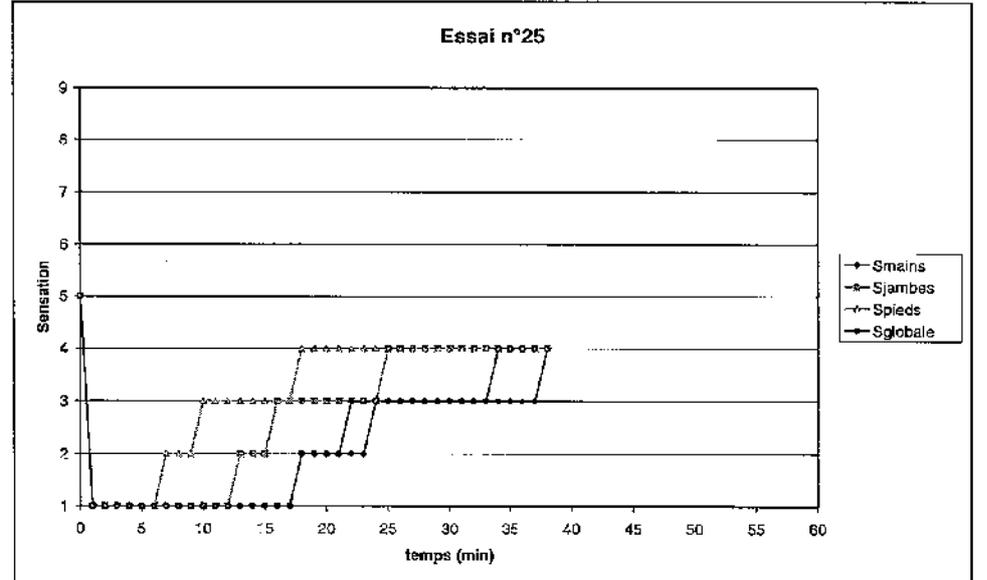
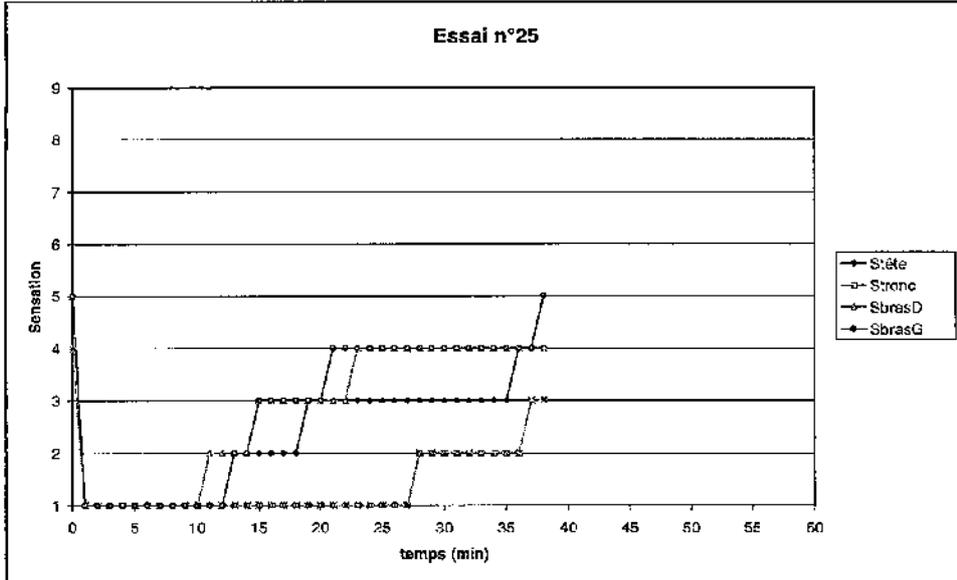
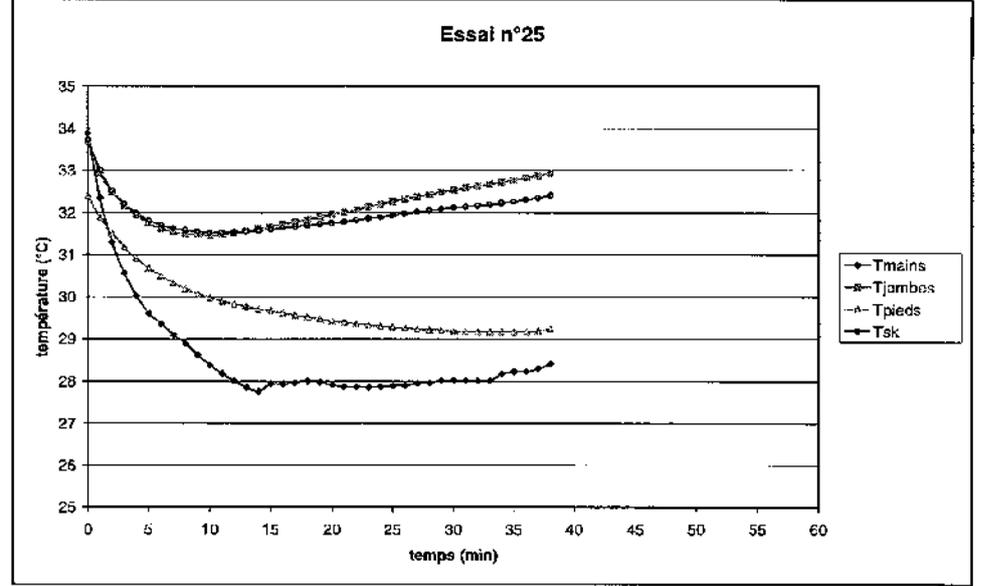
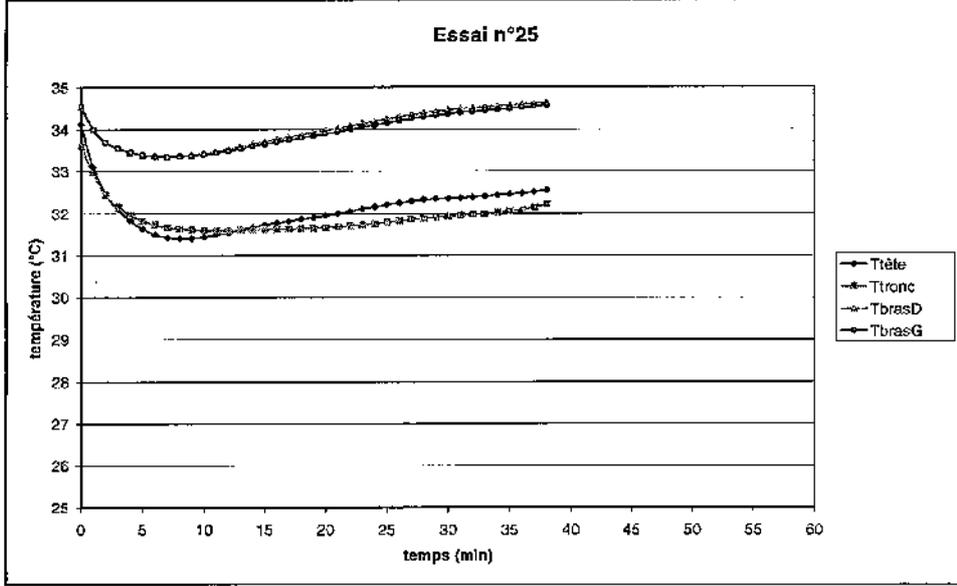
Essai n°24



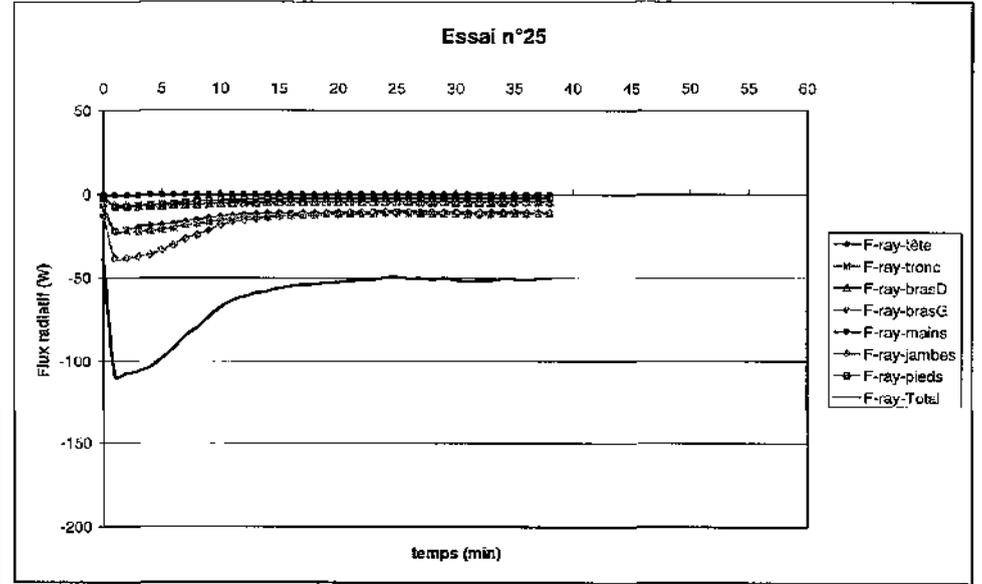
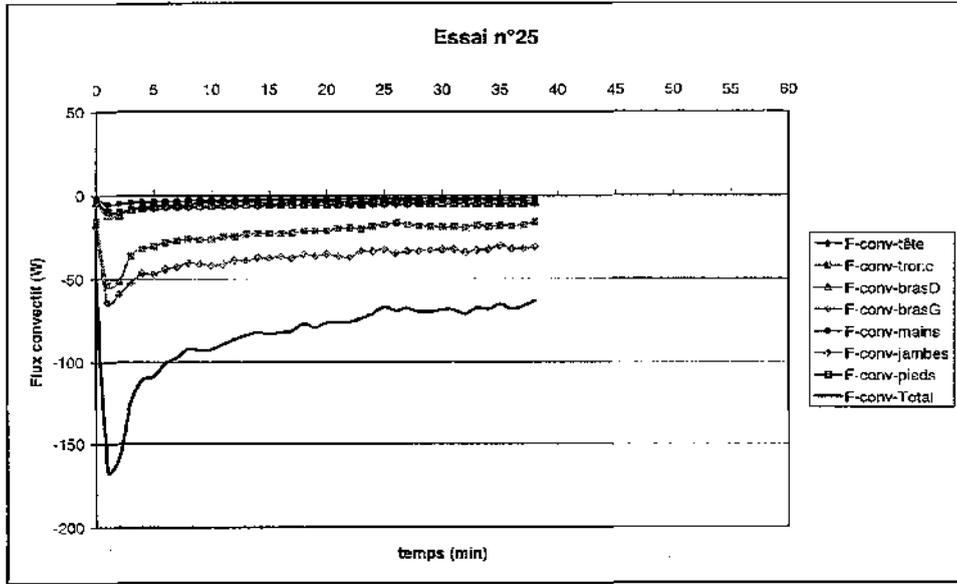
Essai n°24



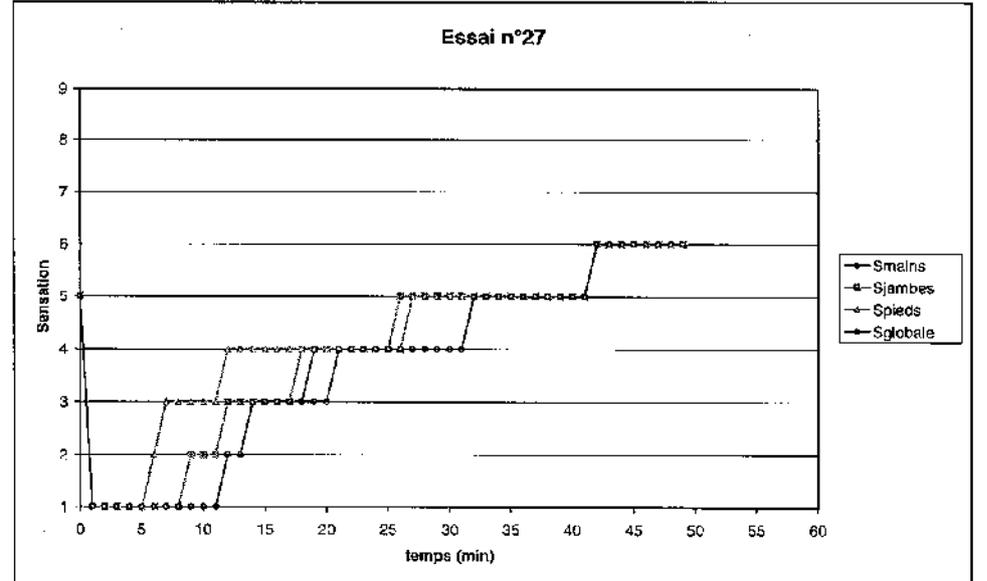
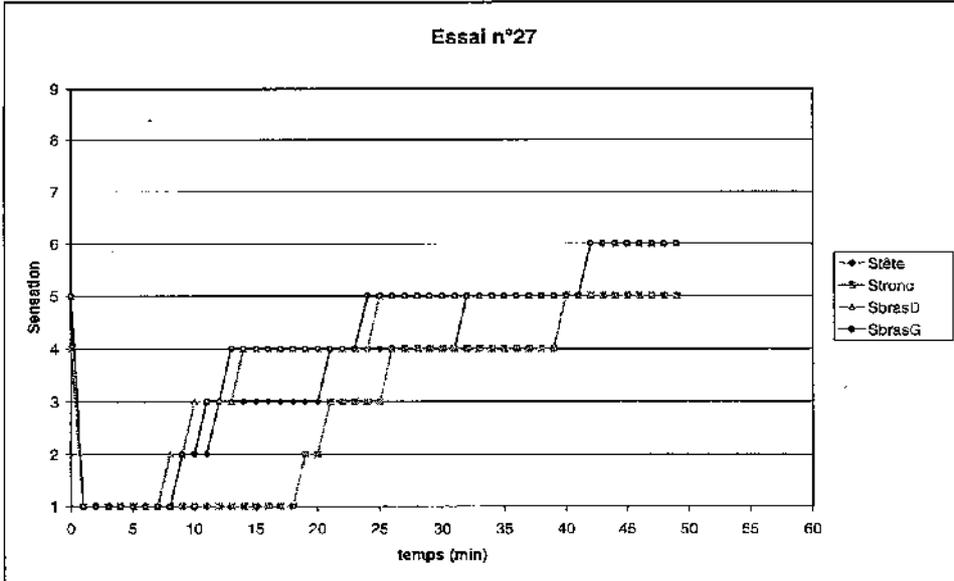
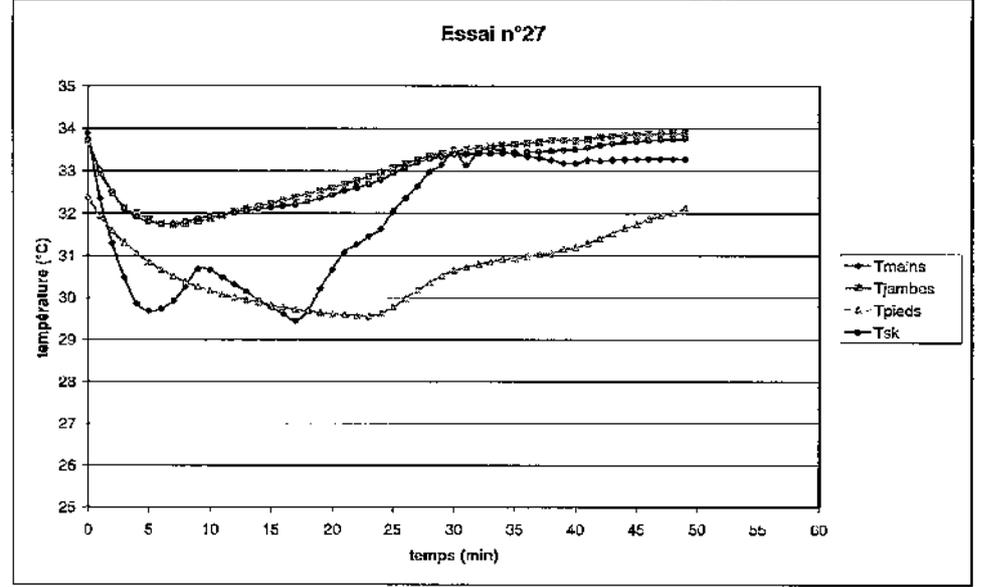
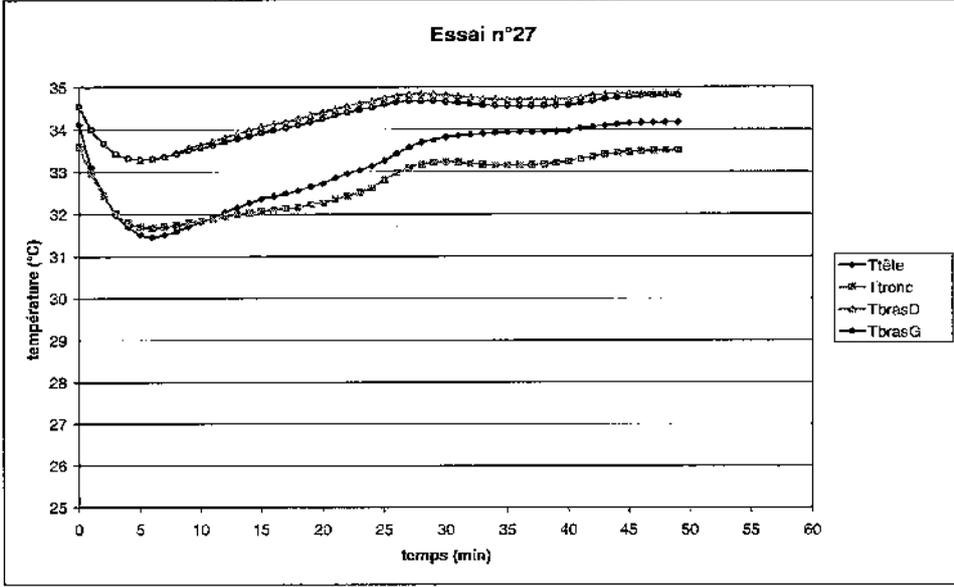
Essai n°25



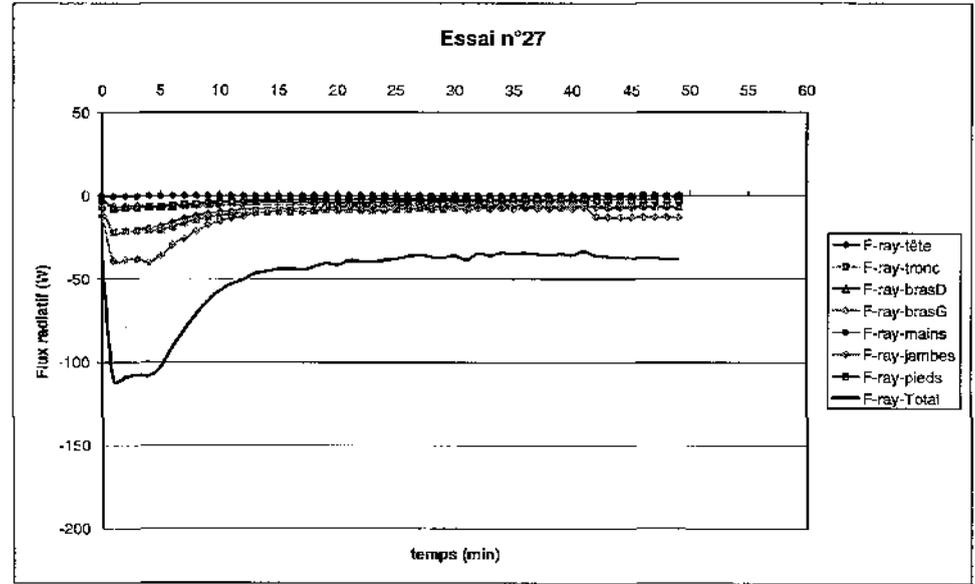
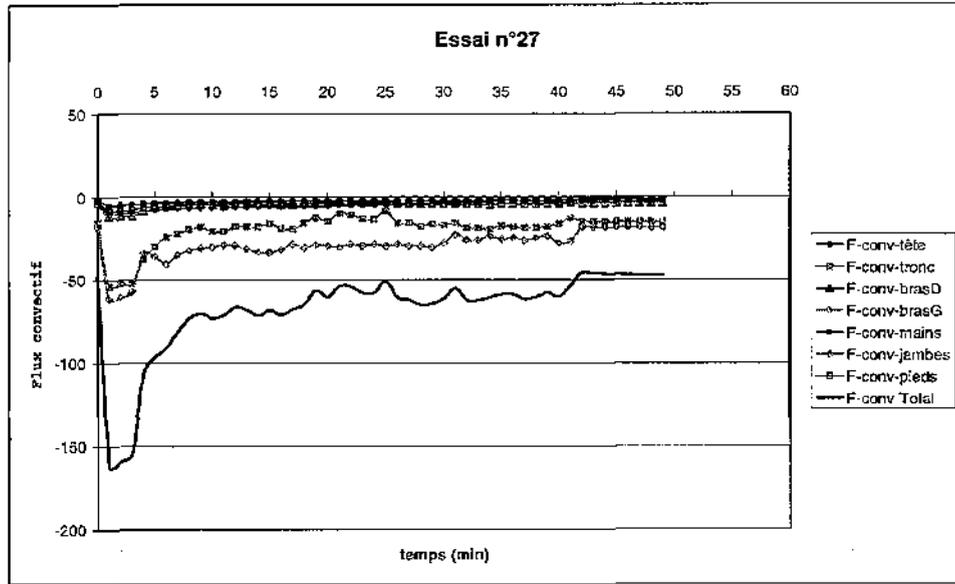
Essai n°25



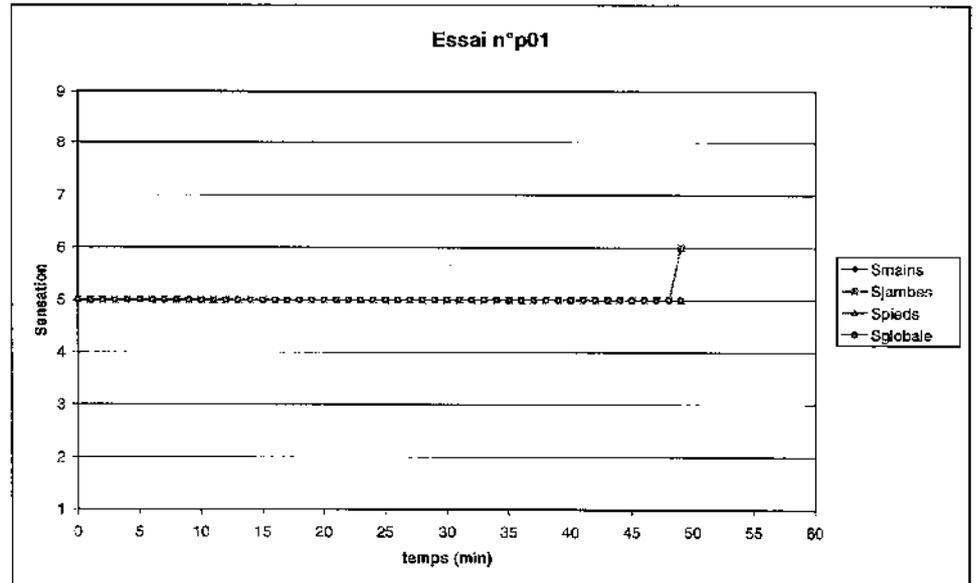
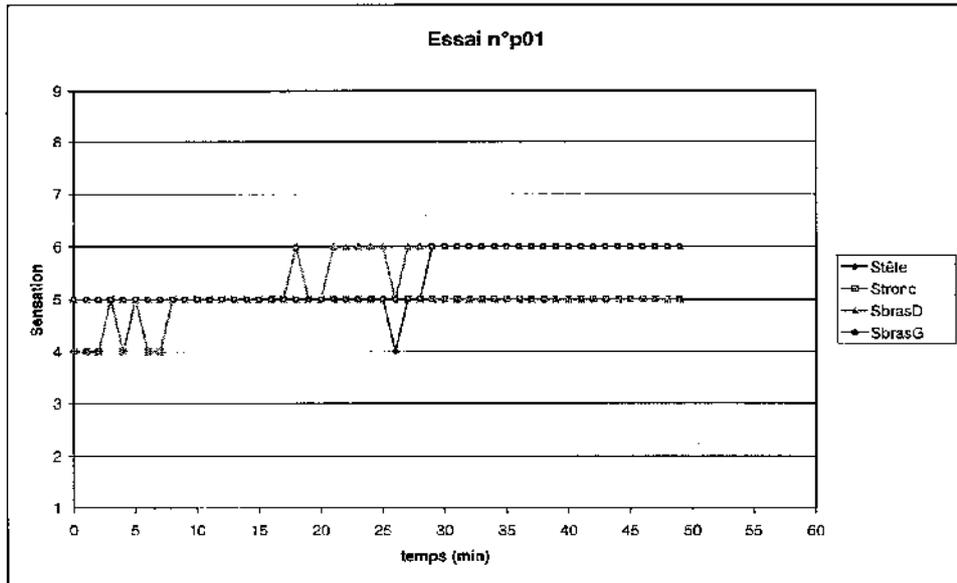
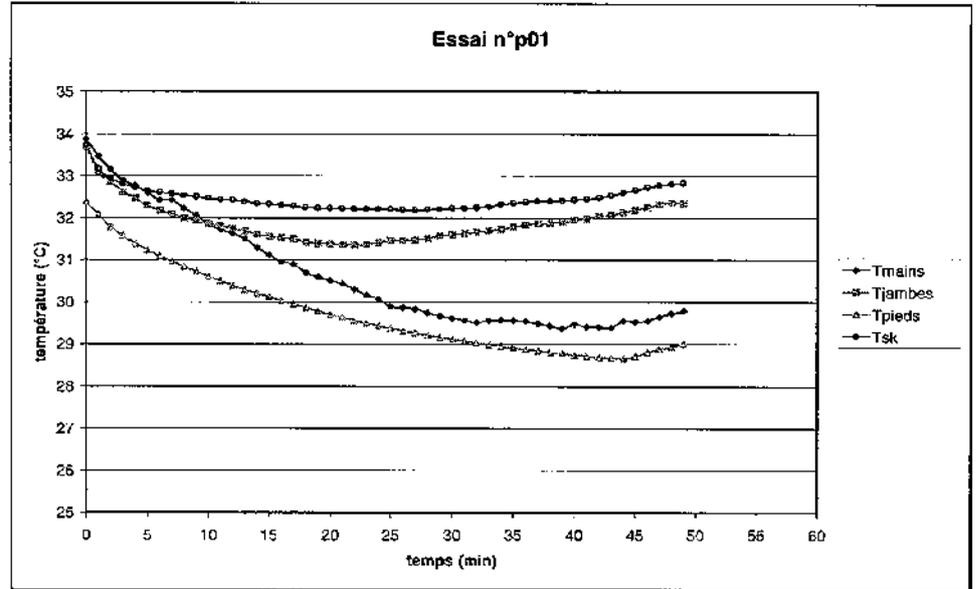
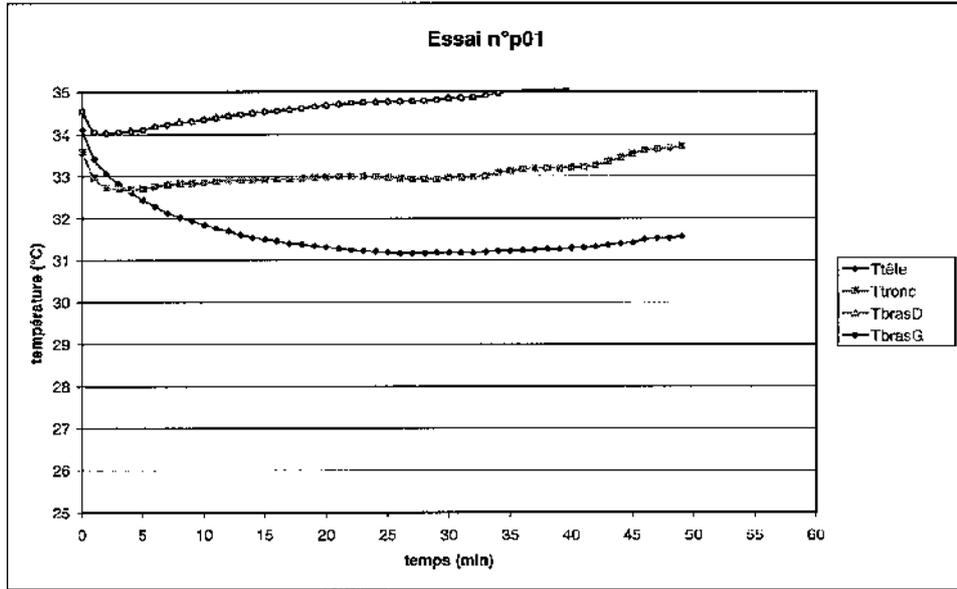
Essai n°27



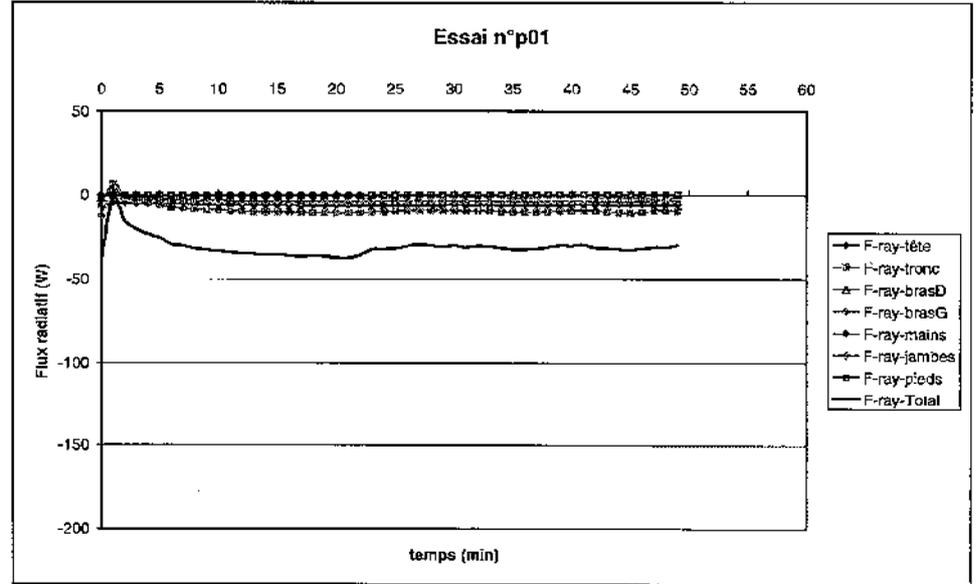
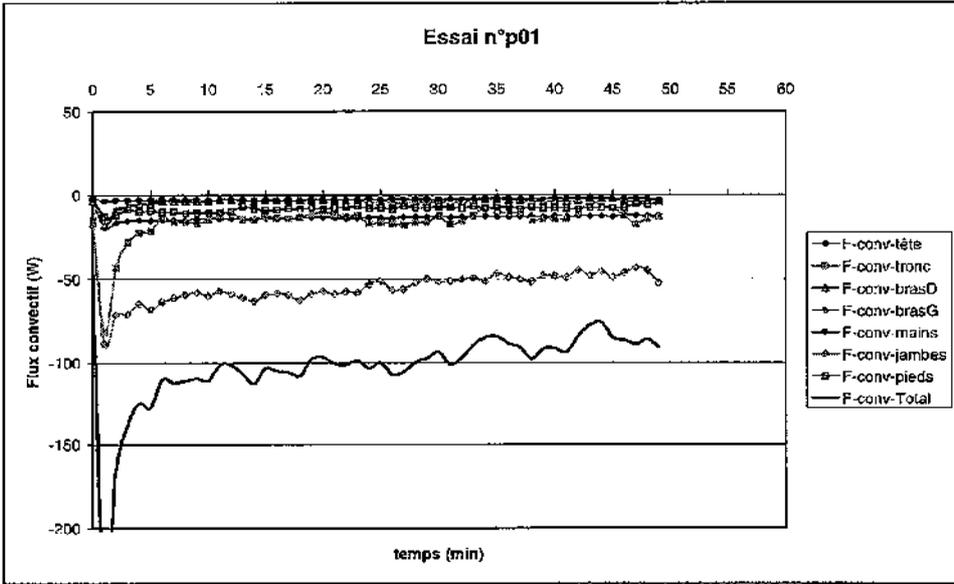
Essai n°27



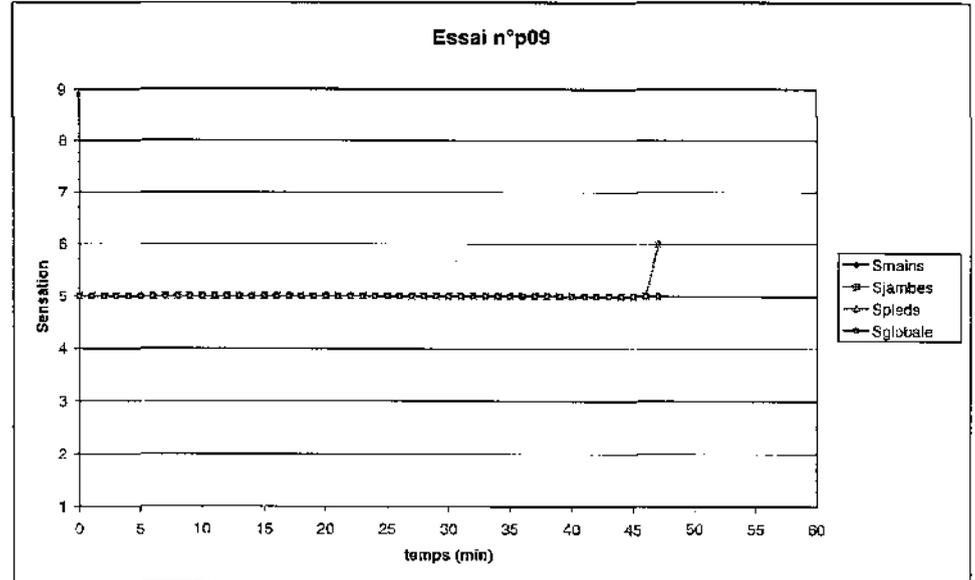
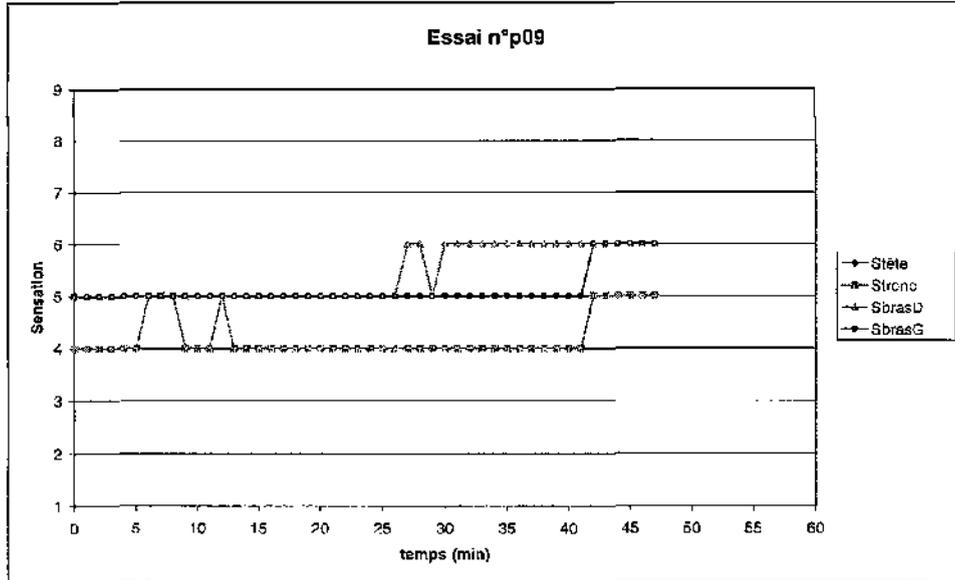
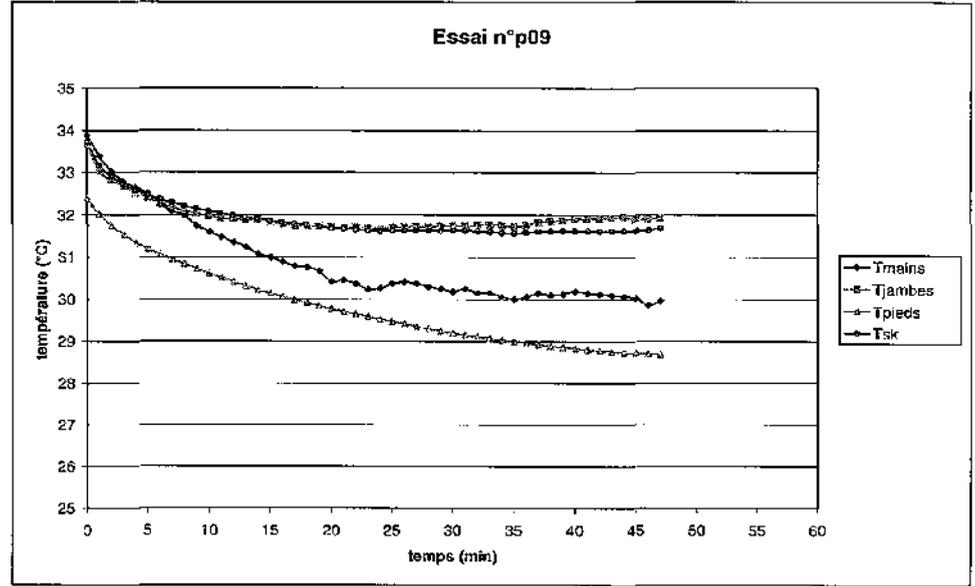
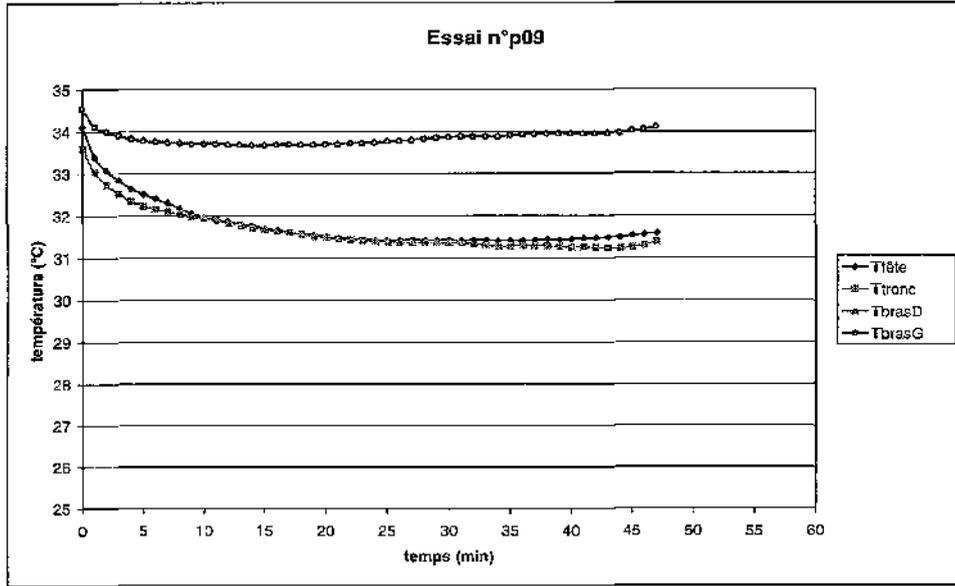
Essai n°p01



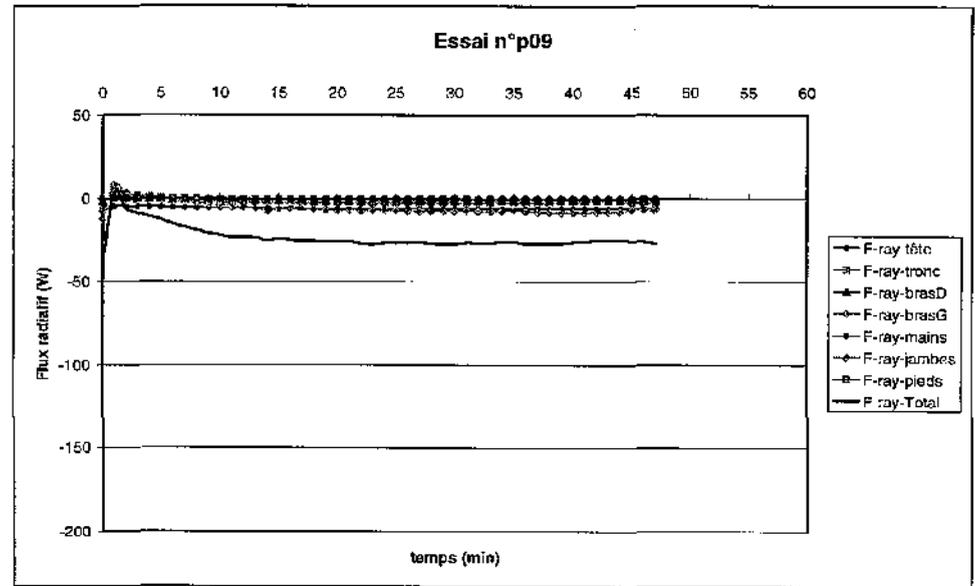
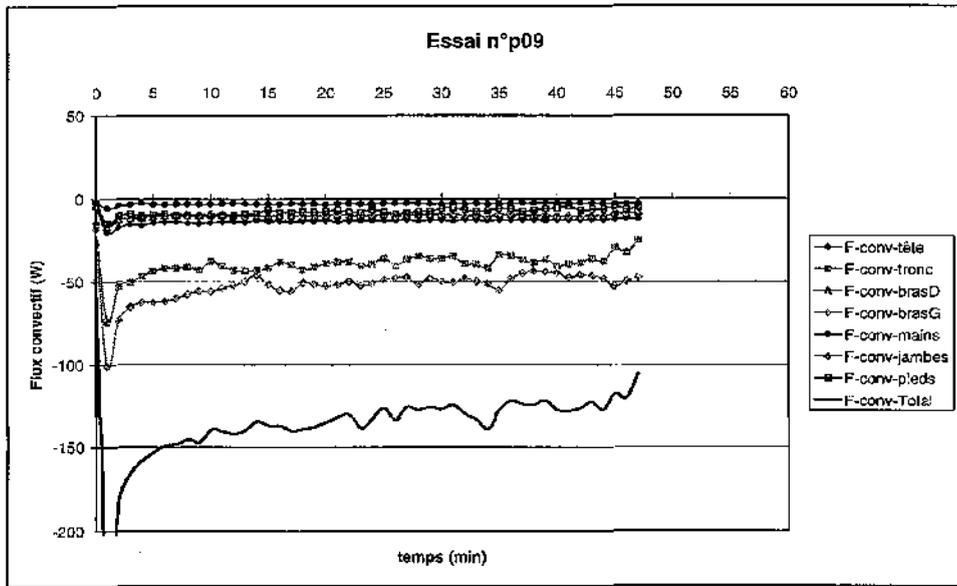
Essai n°p01



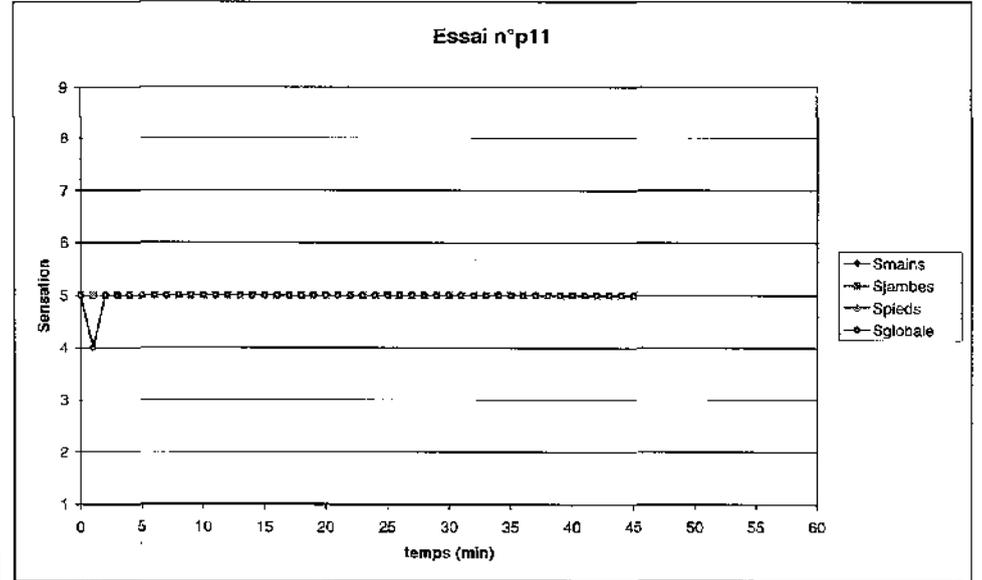
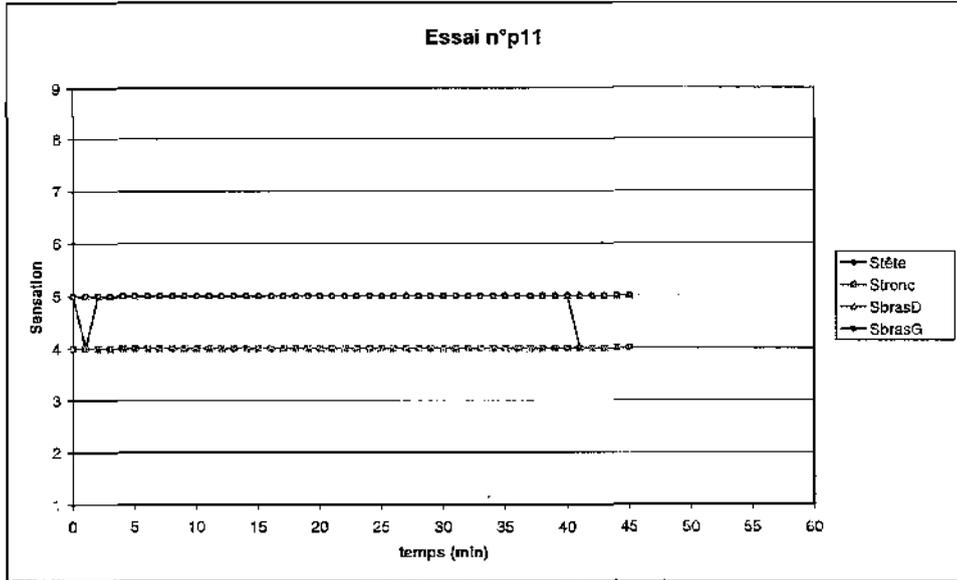
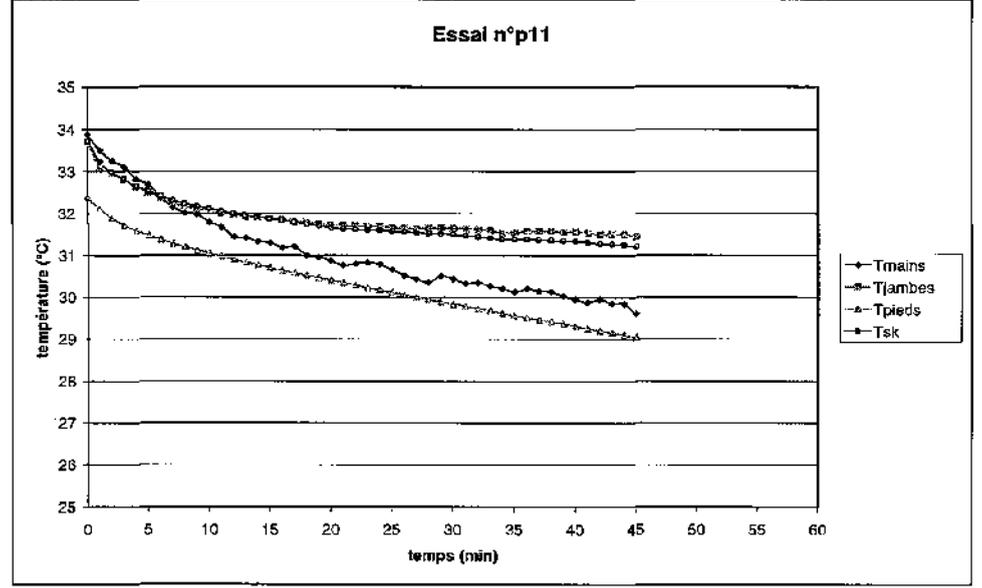
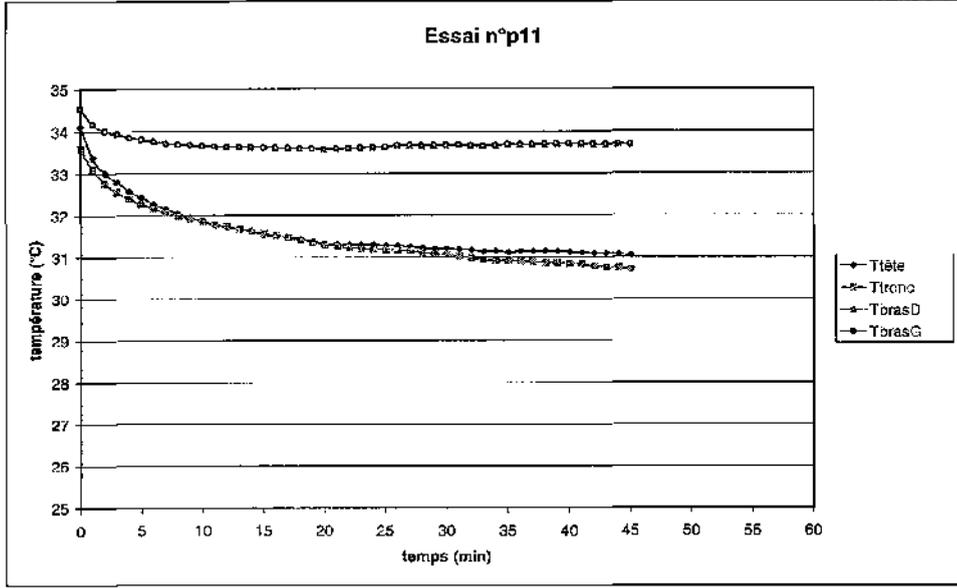
Essai n°p09



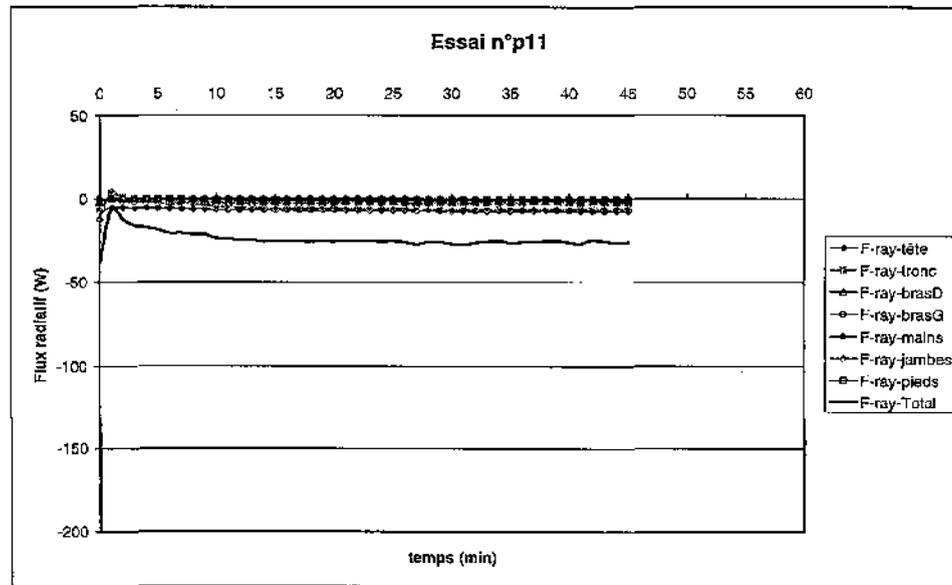
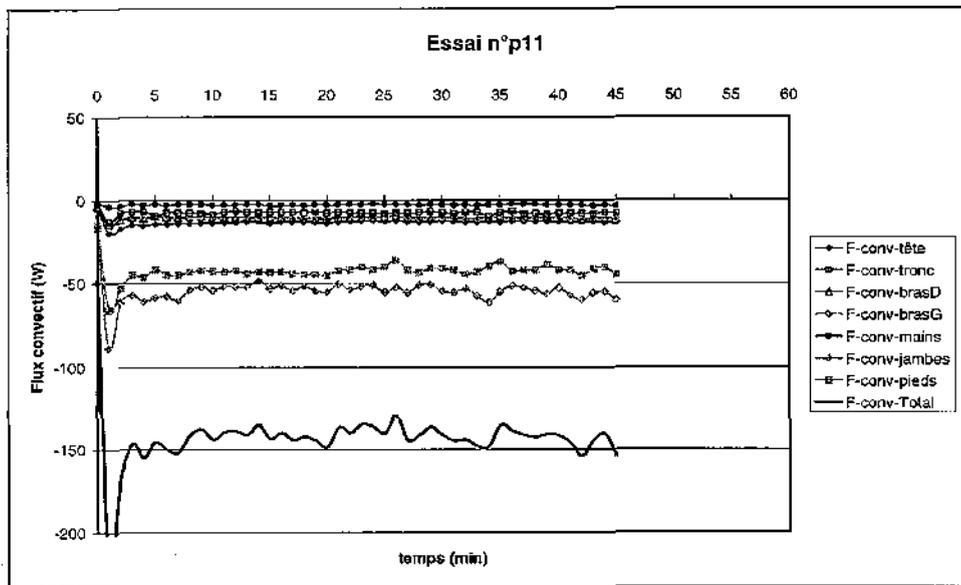
Essai n°p09



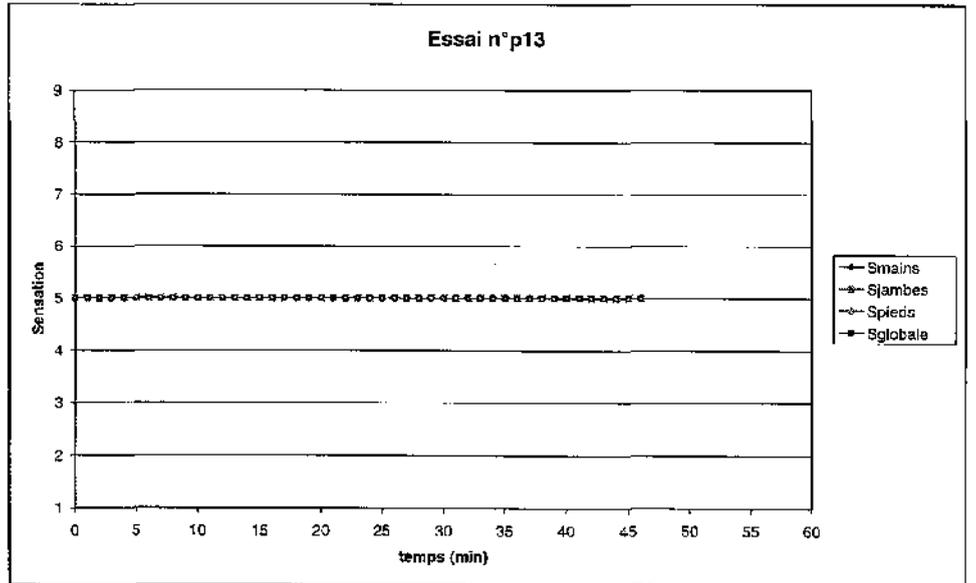
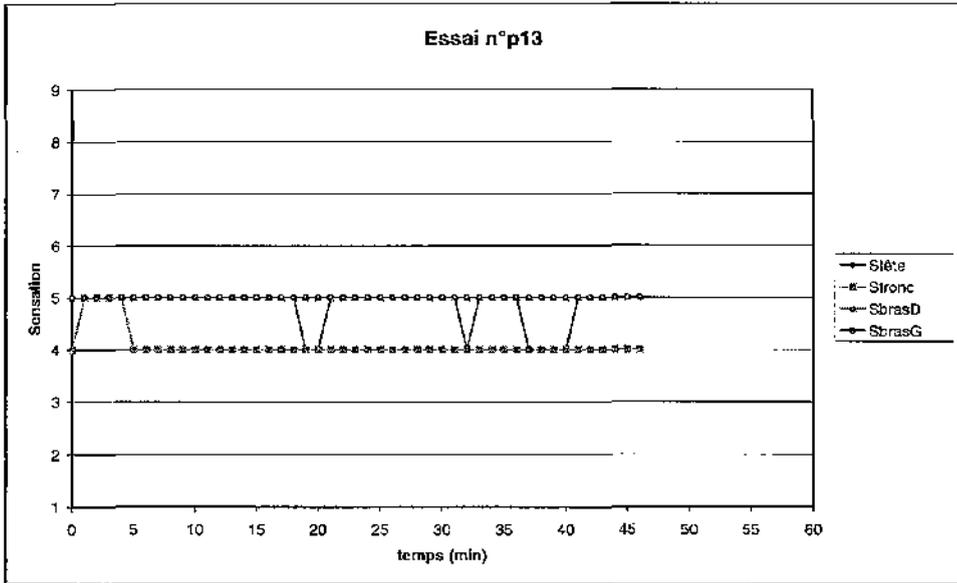
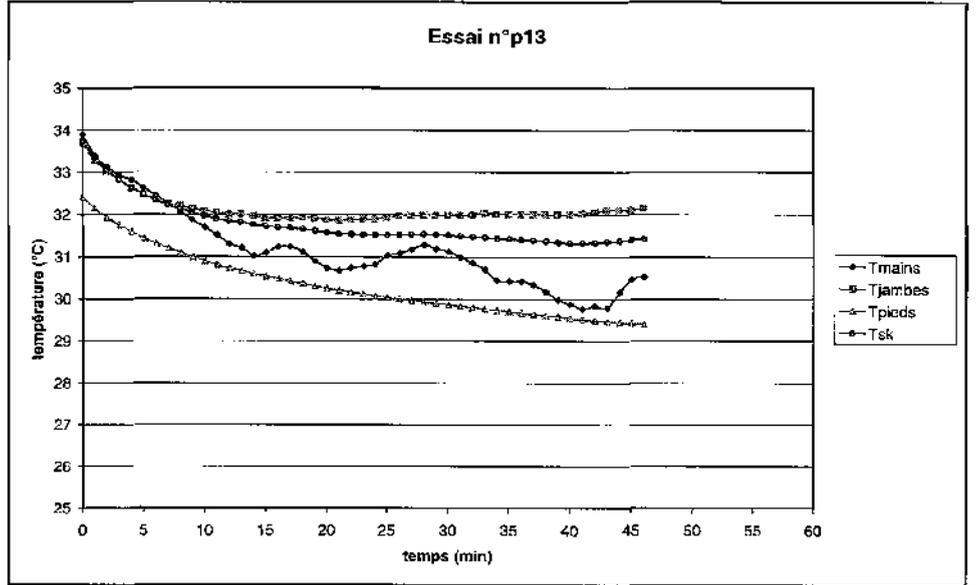
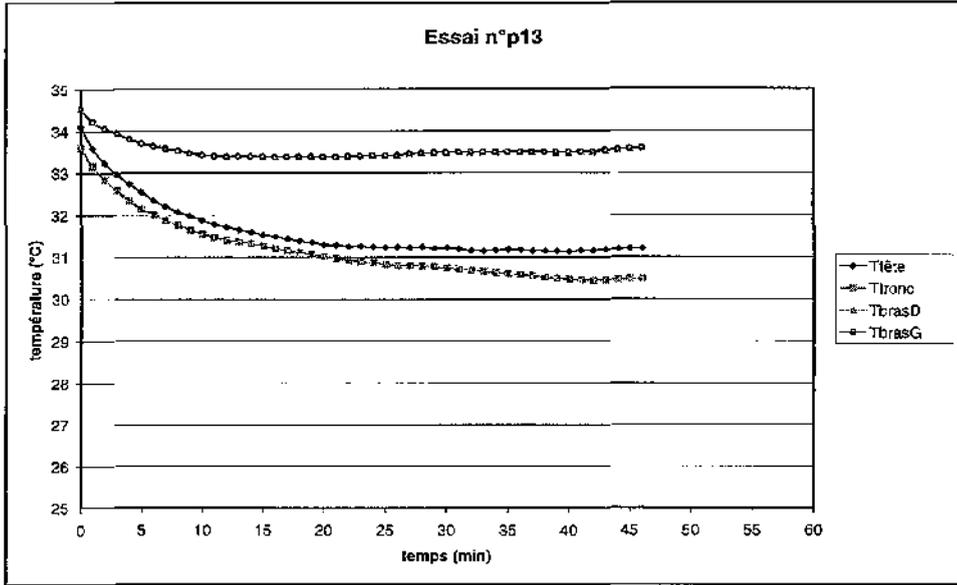
Essai n°p11



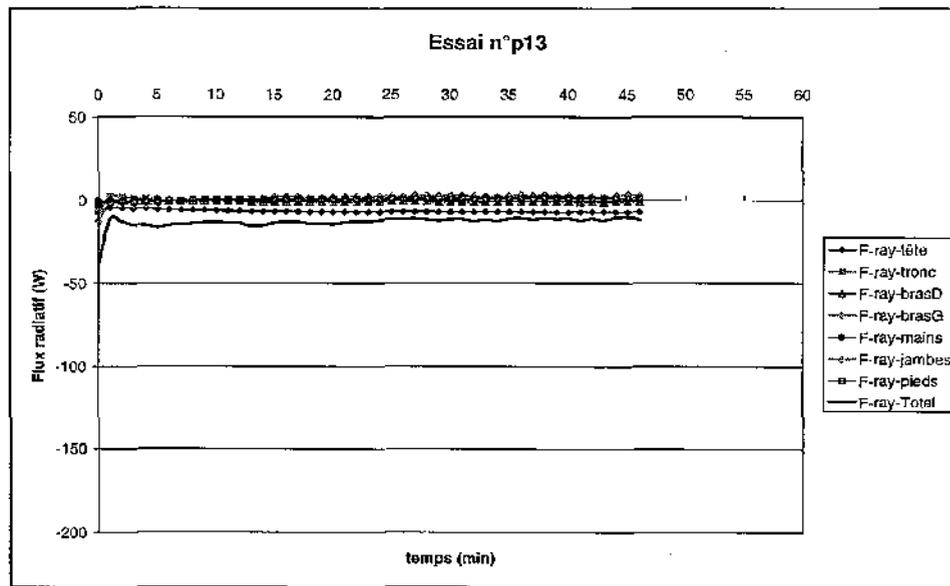
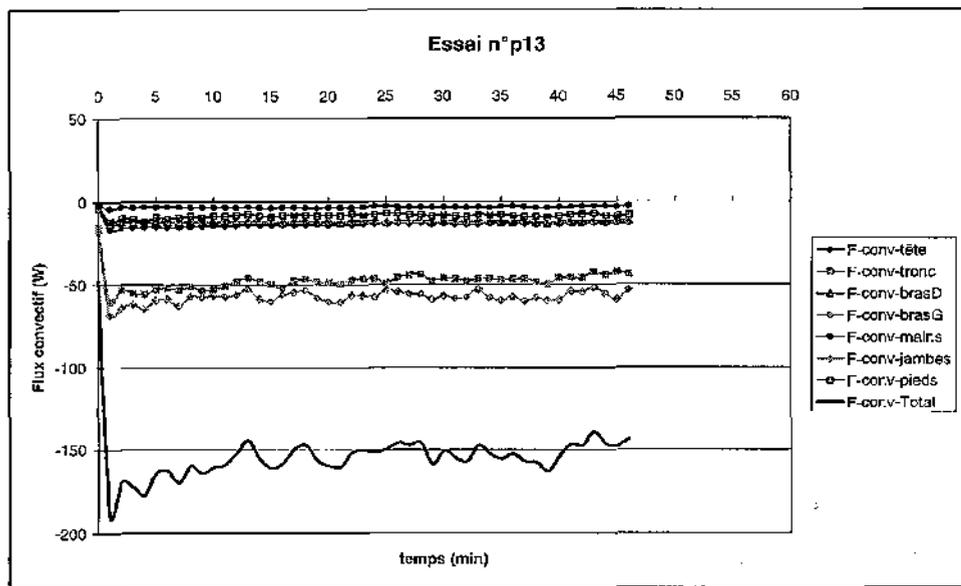
Essai n°p11



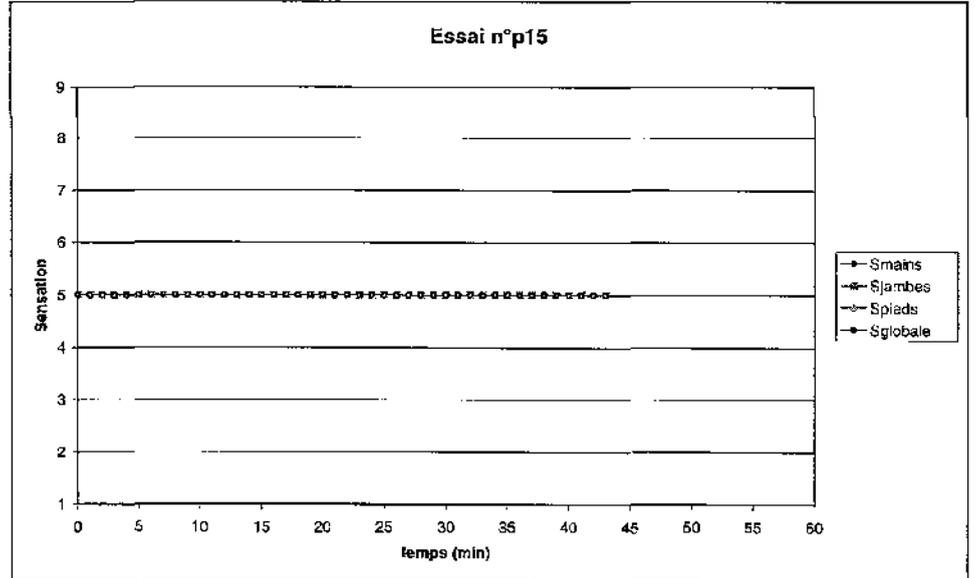
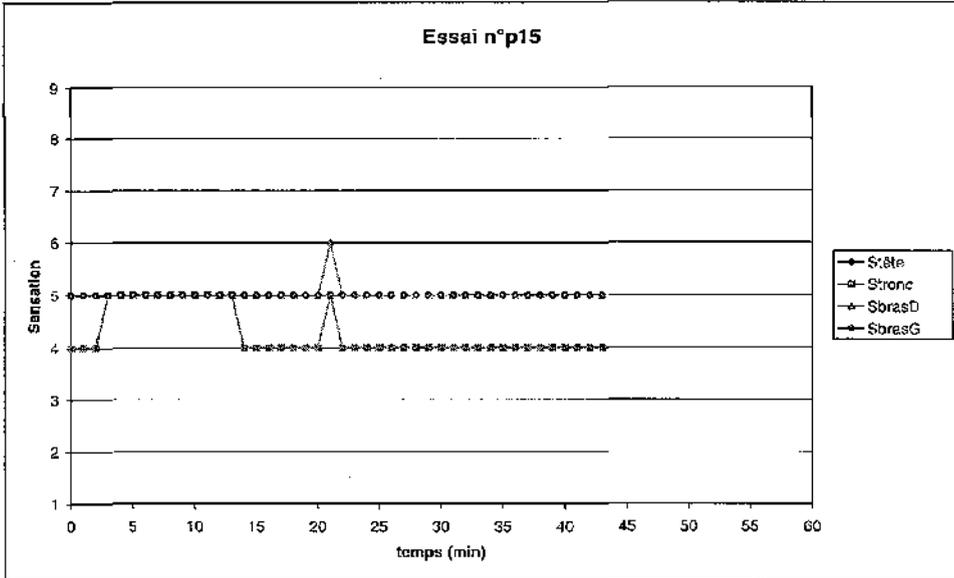
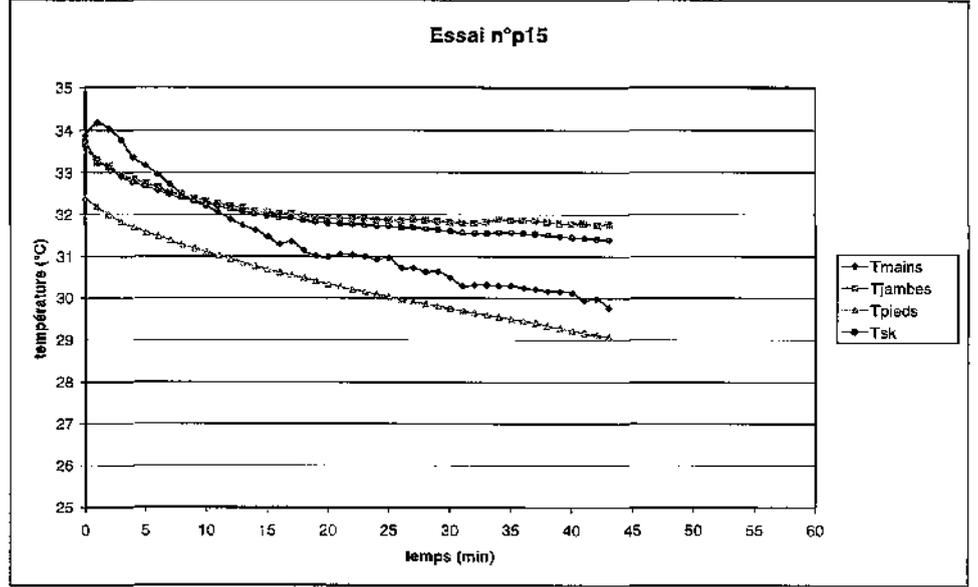
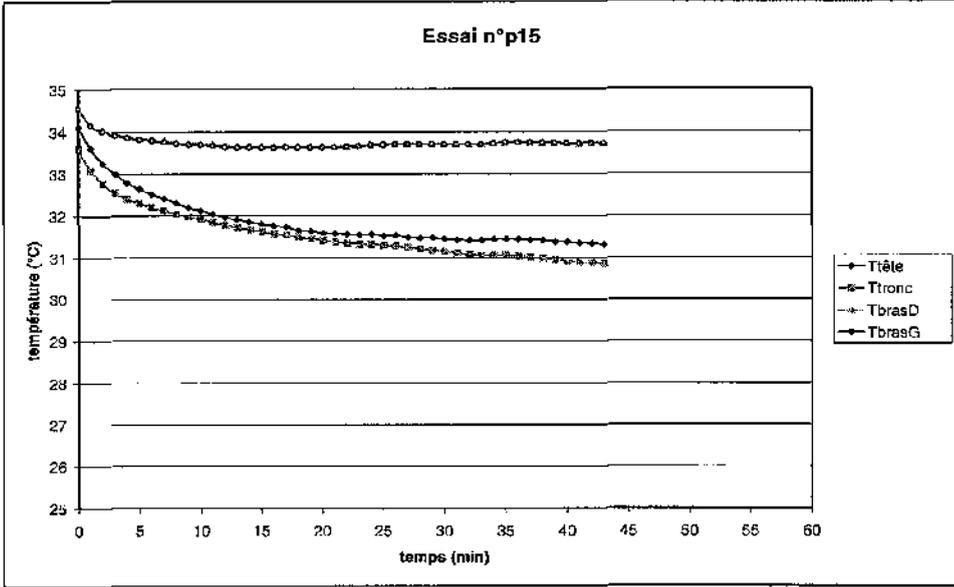
Essai n°p13



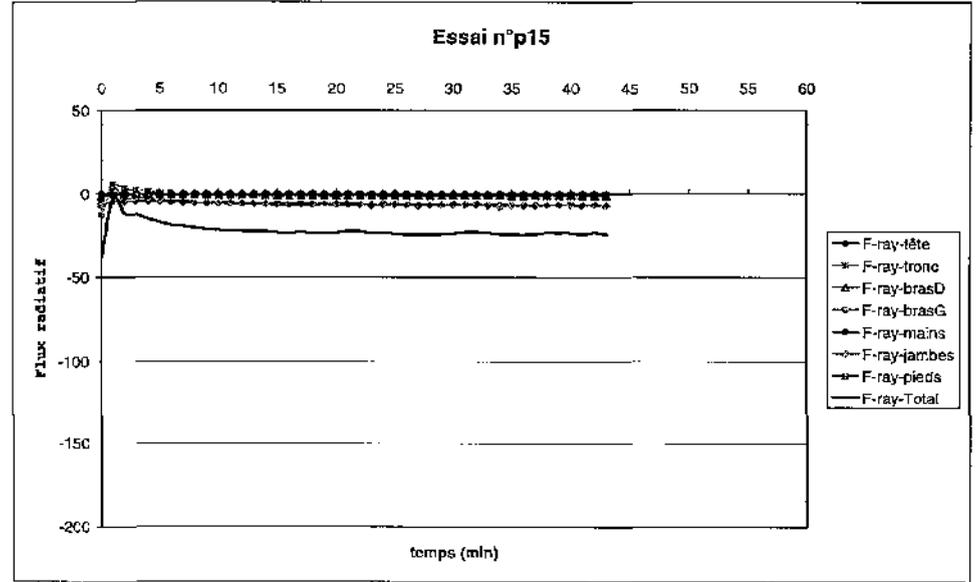
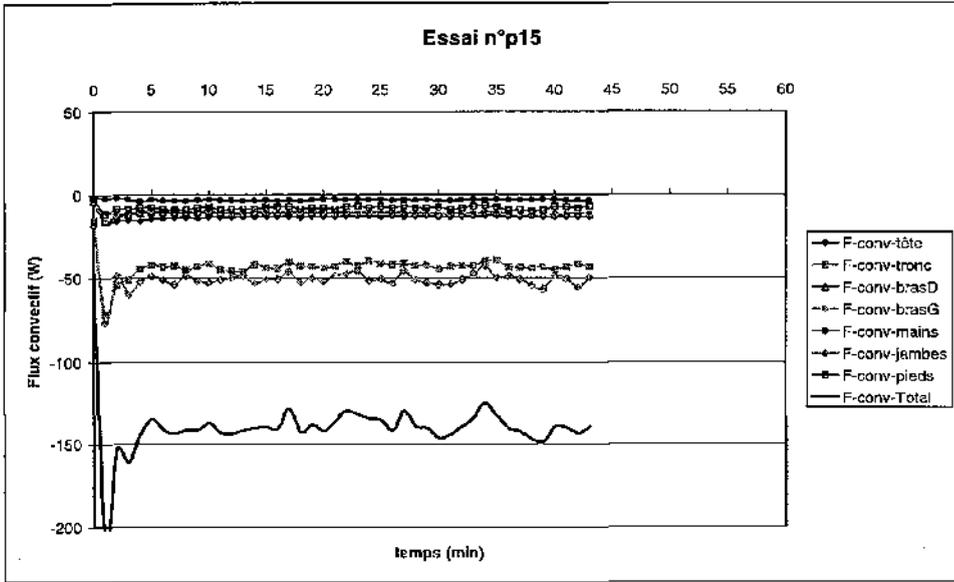
Essai n°p13



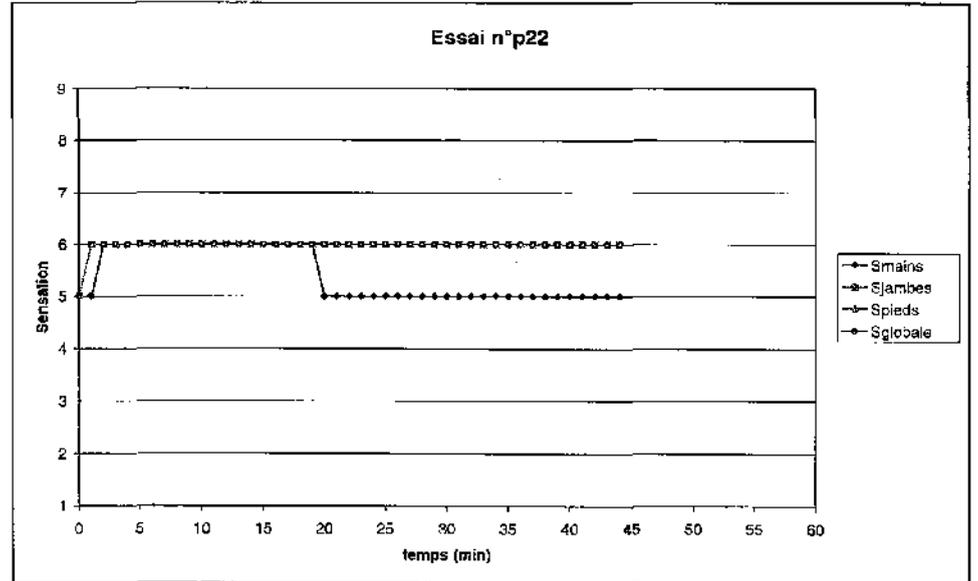
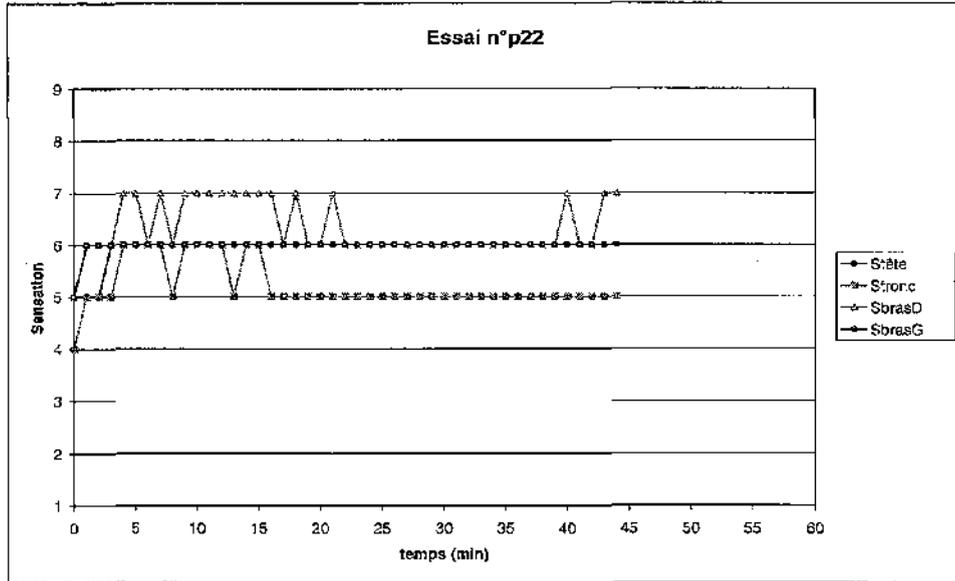
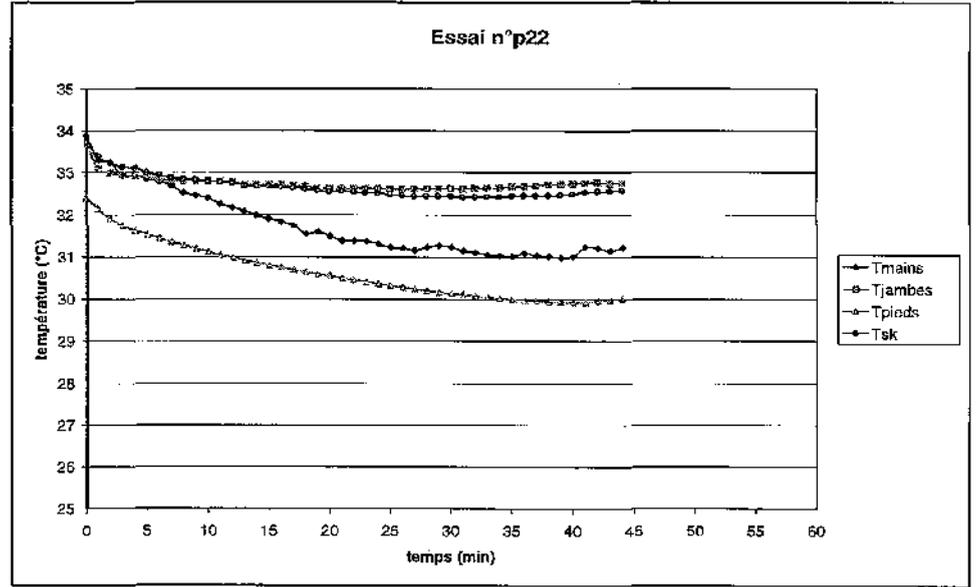
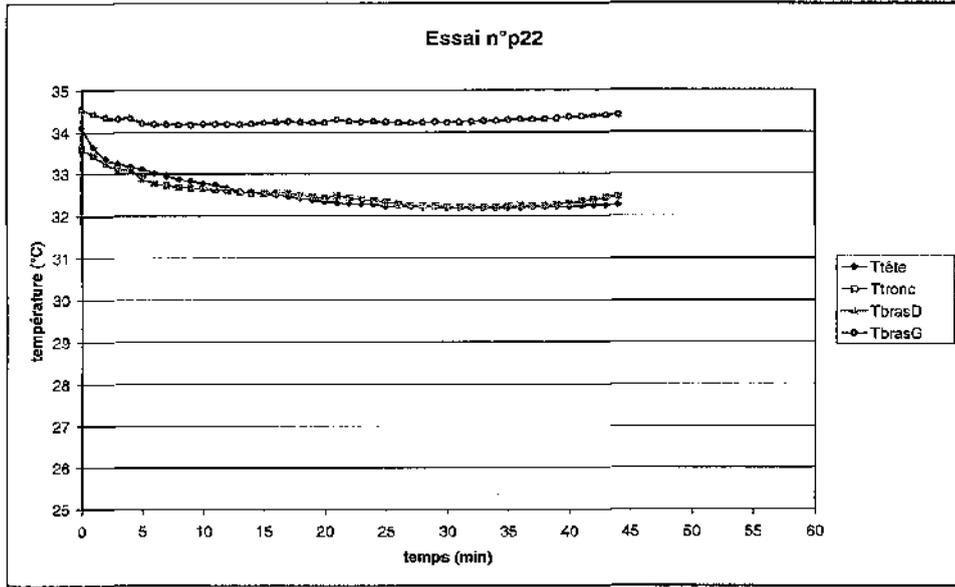
Essai n°p15



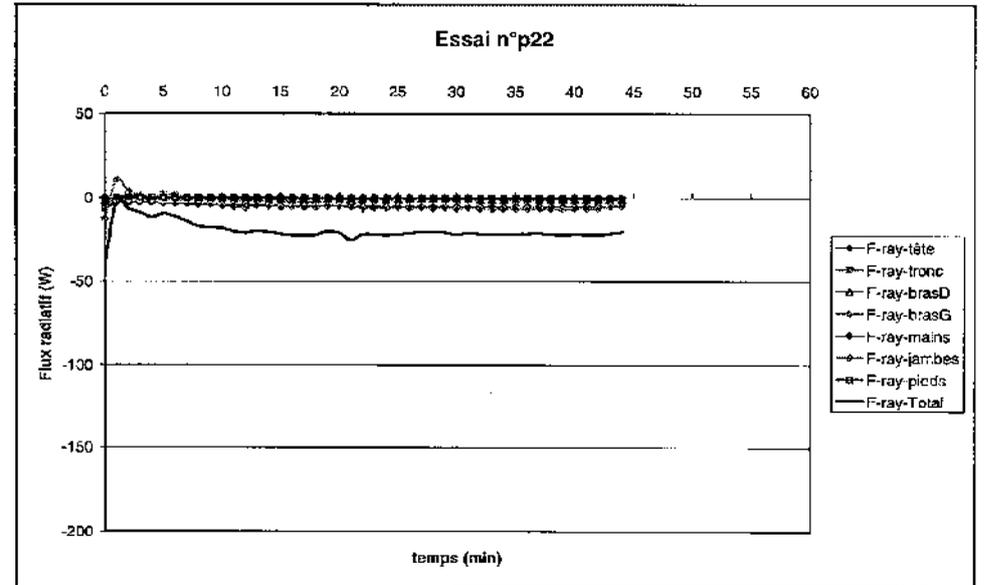
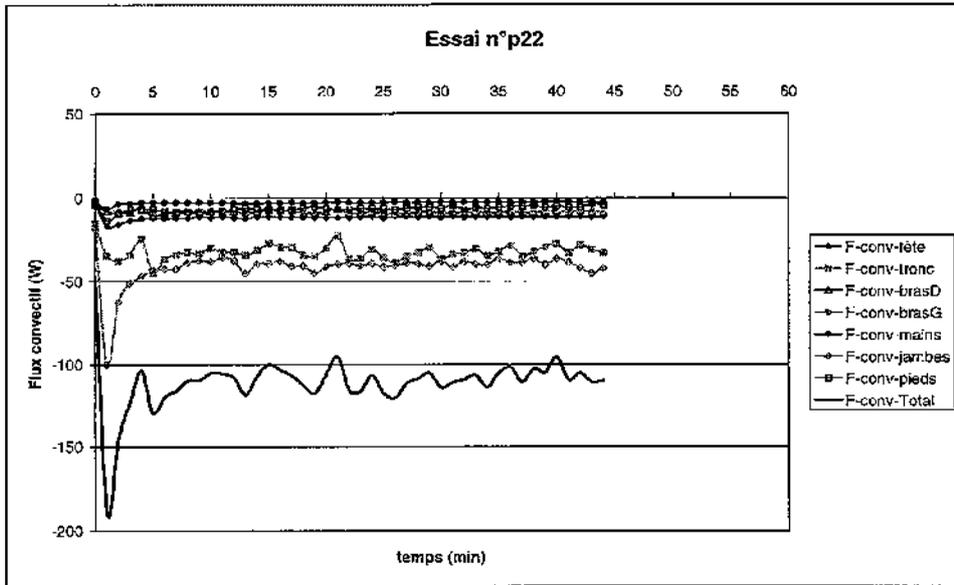
Essai n°p15



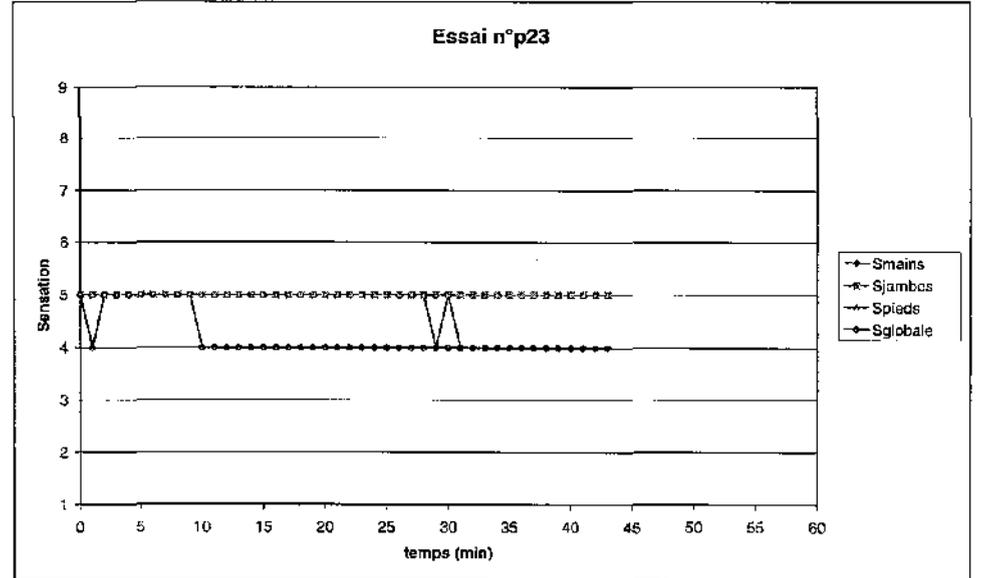
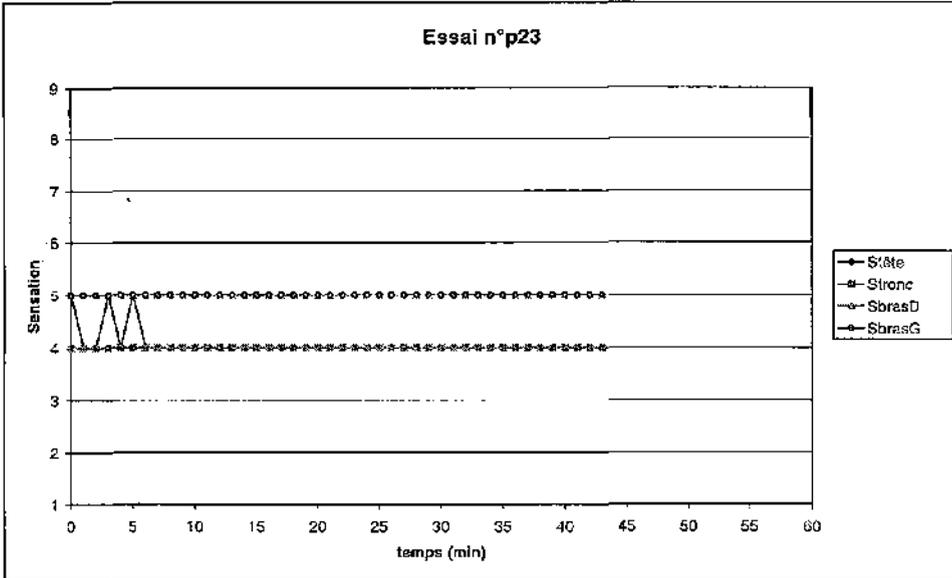
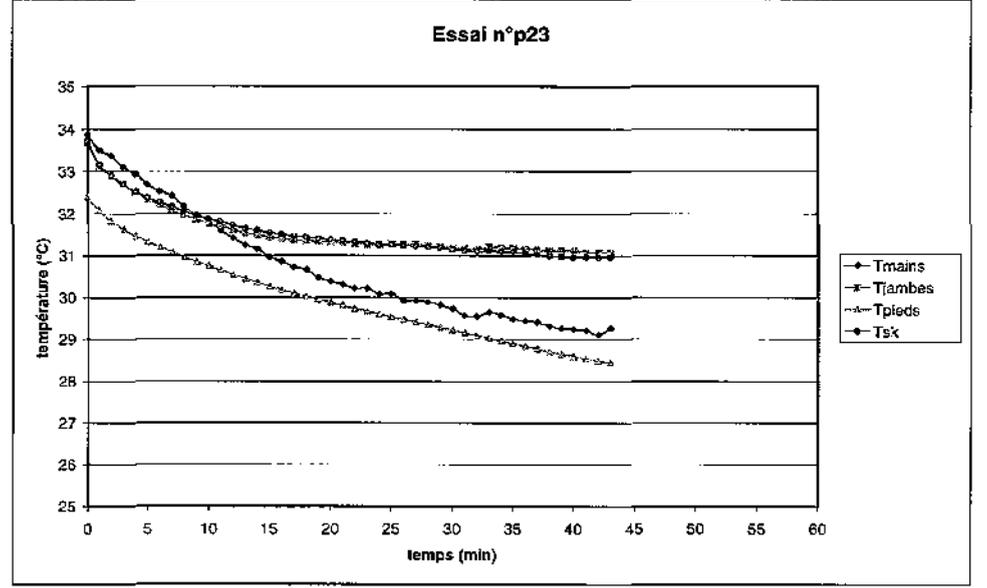
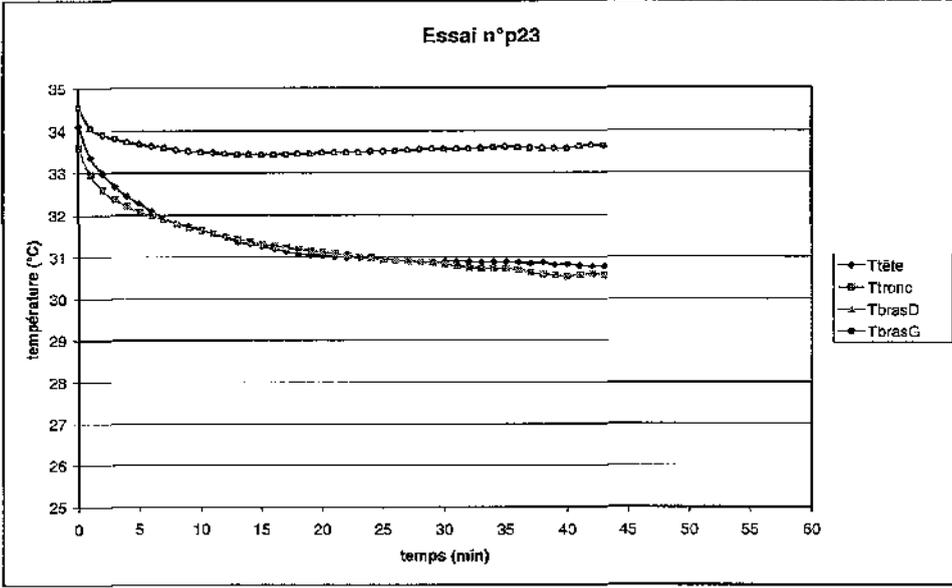
Essai n°p22



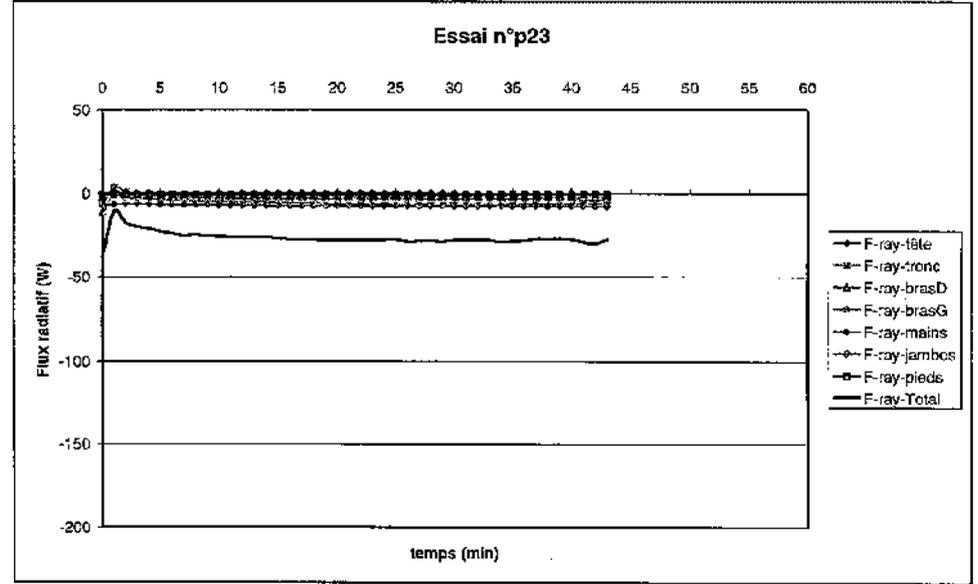
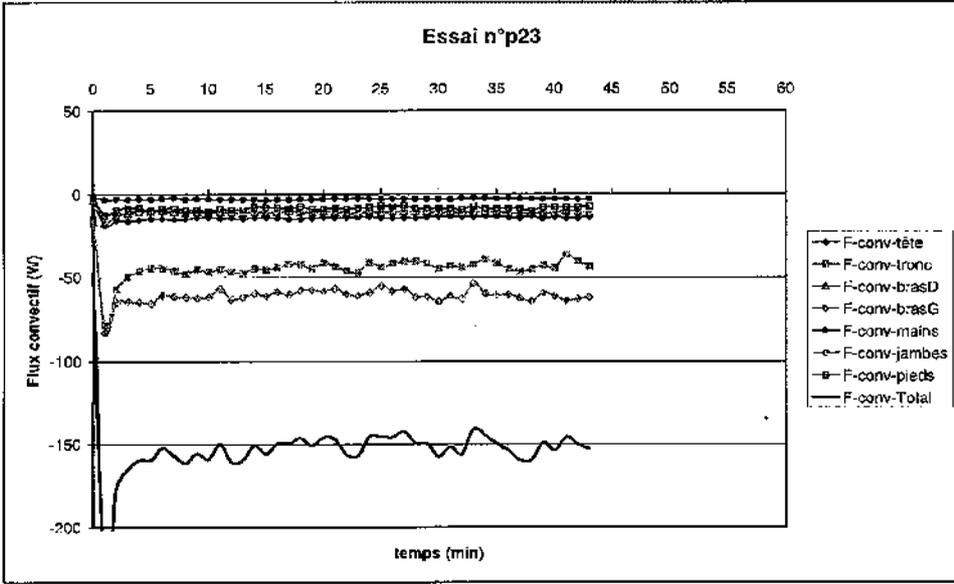
Essai n°p22



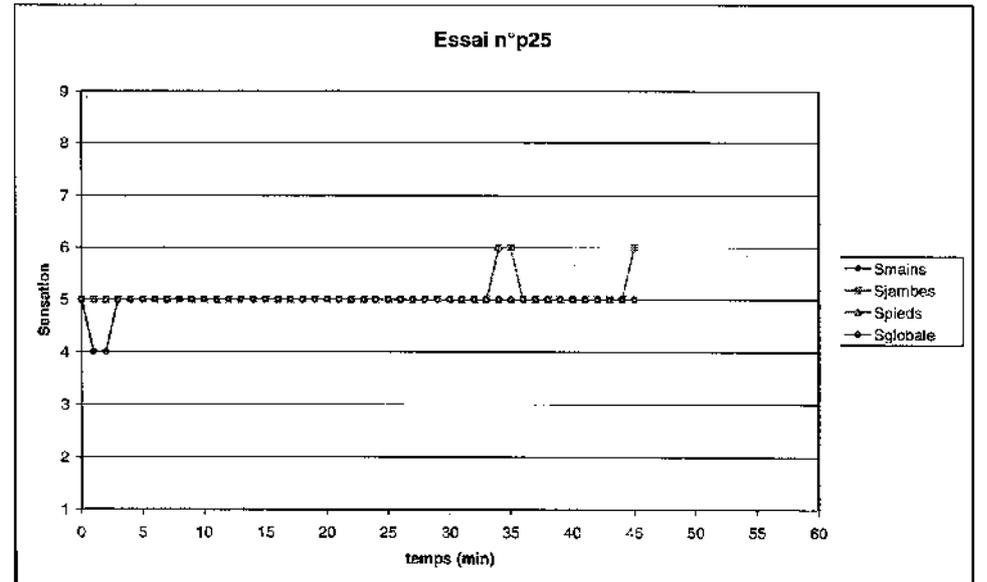
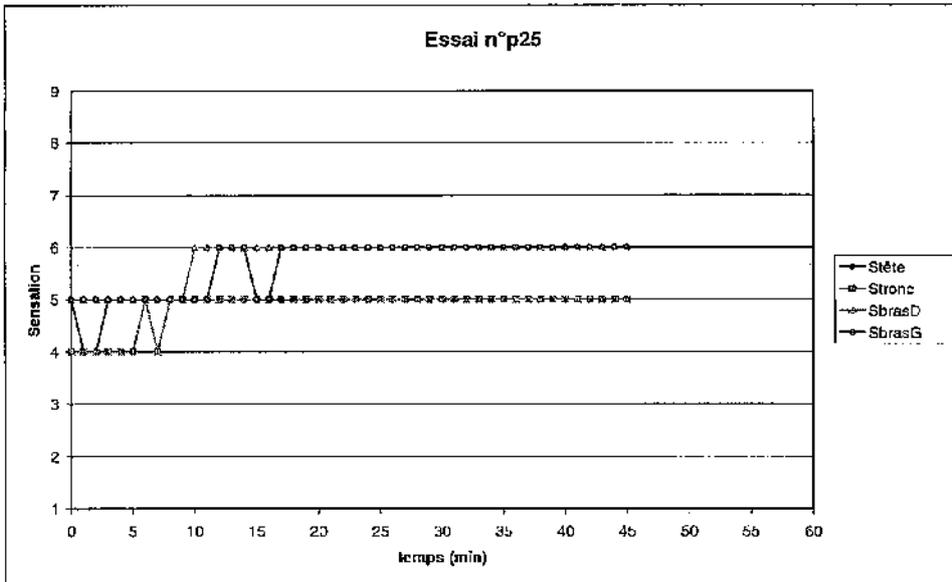
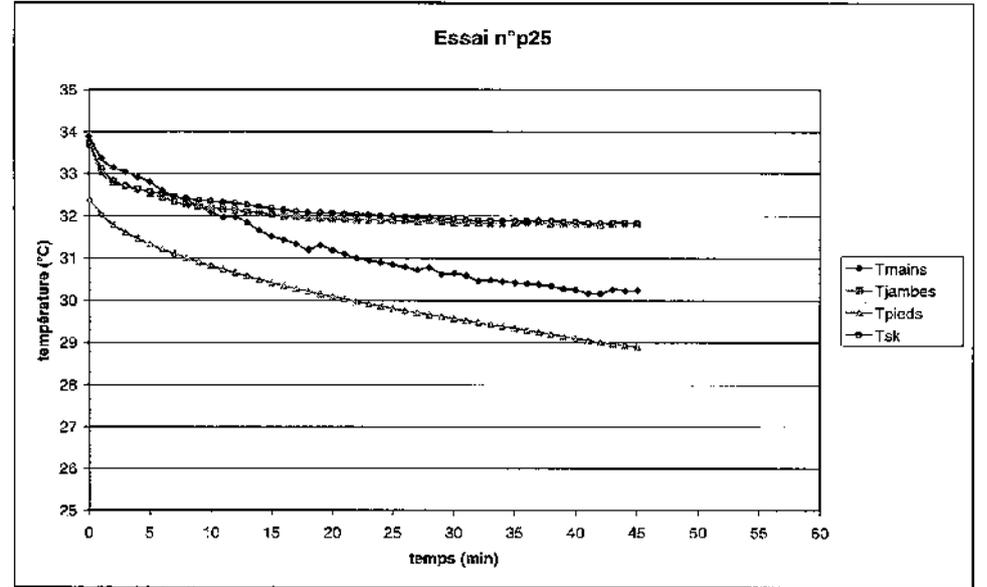
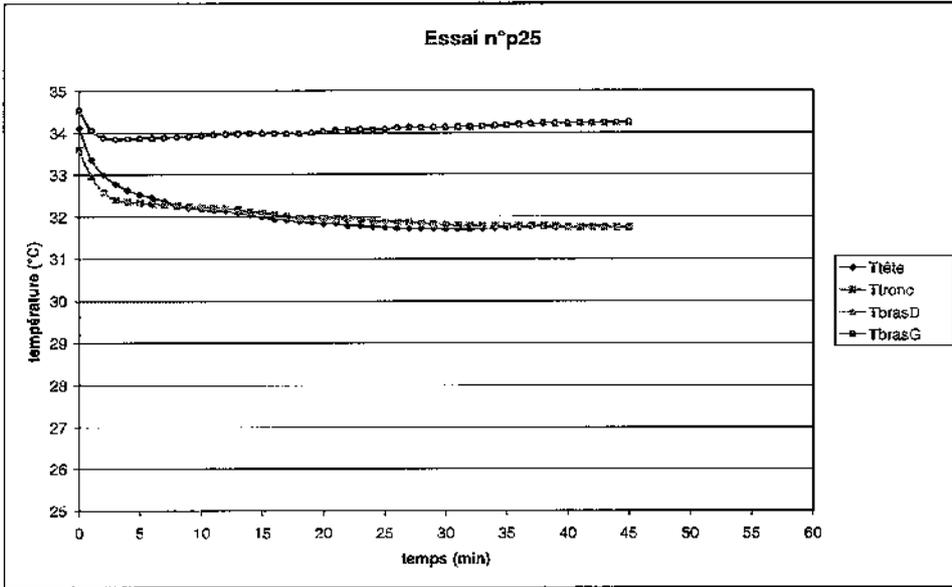
Essai n°p23



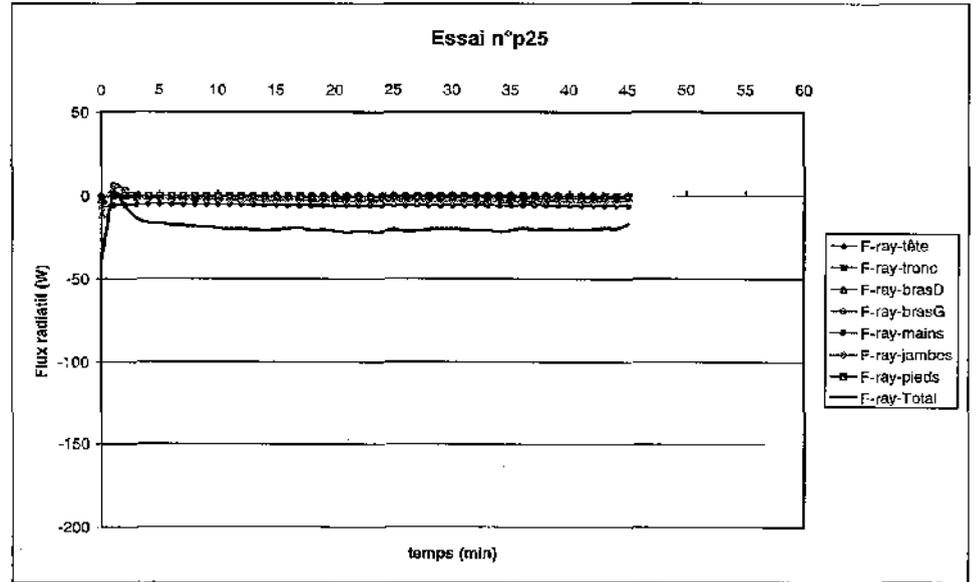
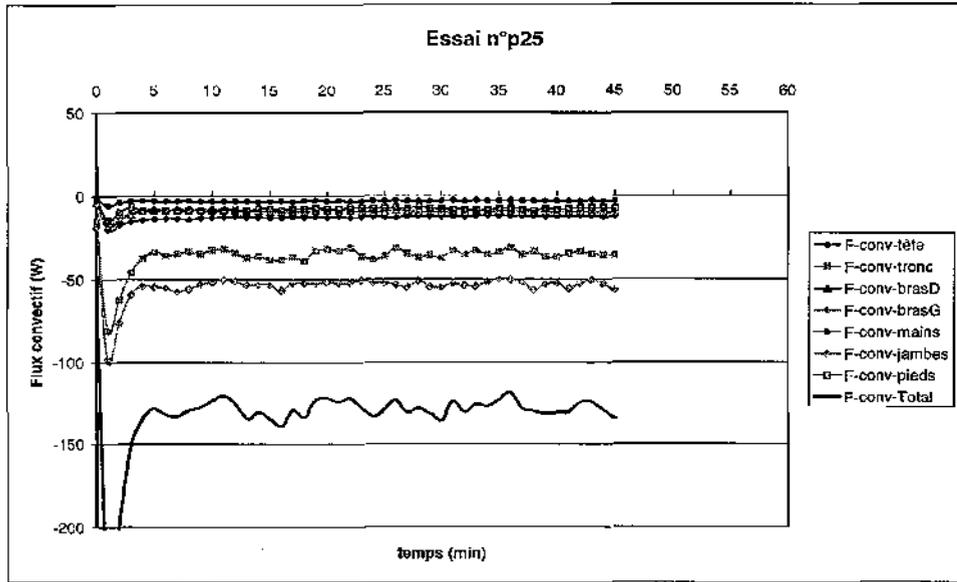
Essai n°p23



Essai n°p25



Essai n°p25



Chauffage d'une voiture électrique

Convention n° 96.32.046

Rapport final

Octobre 1998

CONFIDENTIEL

Laboratoire Études des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

Alain CORDIER, Cédric MILVAQUE, Françoise MONCHOUX, Françoise MONCHOUX

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1. LE MODELE DE THERMOREGULATION :	
Un outil pour l'évaluation du confort thermique.....	5
1.1. Présentation du modèle existant.....	5
1.2. Les échanges radiatifs.....	7
1.3. Adaptation à l'étude.....	7
1.3.1. Passage de TrnSys 13.1 à 14.2.....	7
1.3.2. Réduction des entrées.....	8
1.3.3. Calcul des facteurs de forme.....	9
1.4. Contact avec le volant.....	9
1.5. Tableau de calcul des sensations thermiques.....	10
1.5.1. Modification de la base de données.....	11
1.5.2. Modification des tableaux des sensations.....	12
1.5.3. Vérification du nouveau tableau.....	12
2. INSTRUMENTATION DU VEHICULE	
ET CAMPAGNES EXPERIMENTALES.....	15
2.1. Les expériences in-situ.....	15
2.1.1. La première campagne d'essais (hiver 1997) :	
le véhicule de base à chauffage convectif.....	15
2.1.2. La deuxième campagne d'essais (hiver 1998) :	
le prototype de chauffage radiatif.....	15
2.2. Equipement du véhicule.....	16
2.2.1. Les éléments du chauffage radiatif.....	16
2.2.2. Les capteurs.....	17
2.3. Evaluation de la température proche de la tête.....	19

3. CHAUFFAGE D'UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE.....	21
3.1. Analyse du chauffage conventionnel.....	21
3.2. Tests de prédiction et choix de solutions nouvelles.....	21
3.3. Validation des solutions.....	25
CONCLUSIONS	27
Annexe A. Bibliographic.....	29
Annexe B. Suites possibles de l'étude	30
Annexe C. Fichiers MATHER.....	33

INTRODUCTION

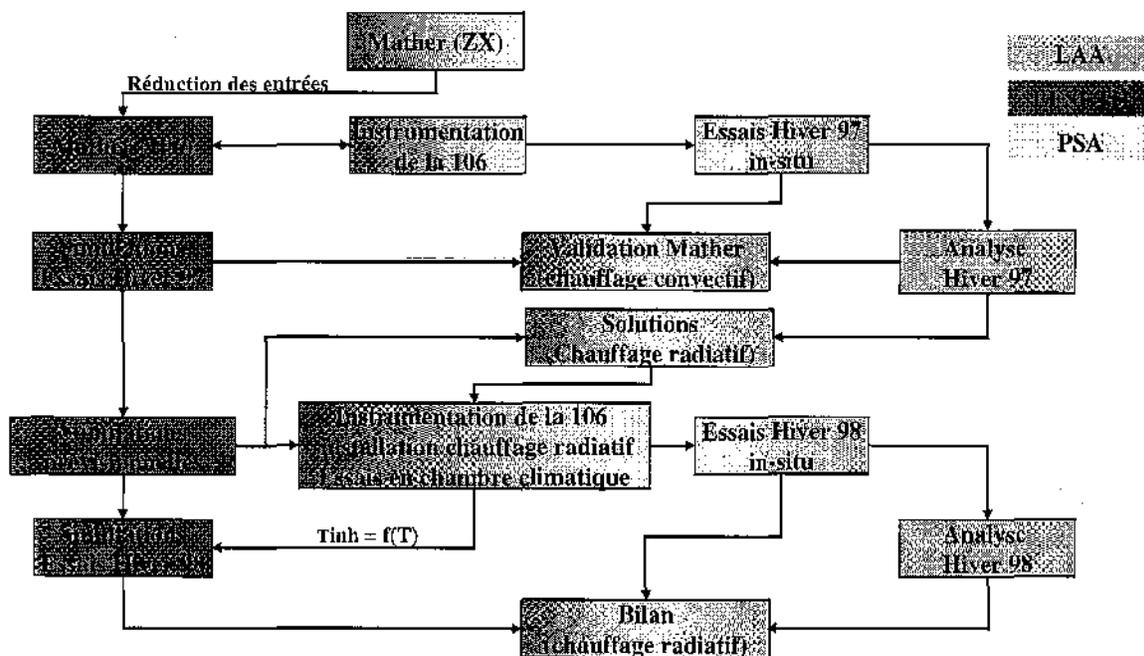
Le chauffage d'un véhicule électrique est actuellement assuré par une chaudière thermique à essence, ce qui n'est pas satisfaisant pour l'utilisateur.

L'étude avait pour objectif de déterminer un nouveau mode de chauffage, économe en énergie. Après l'analyse des performances des véhicules conventionnels à chauffage convectif, une solution a été trouvée qui consiste à installer des panneaux chauffants constituant un chauffage majoritairement radiatif.

L'étude s'est déroulée dans le cadre d'une collaboration entre les Physiciens (LESETH), les Physiologistes (LAA) et PSA. Elle a été menée en trois grandes phases :

1. septembre 1996 → juin 1997 :
 - Bilan des connaissances et adaptation du modèle MATHER pour l'étude ;
 - Approche expérimentale sur véhicule électrique de référence (analyse du chauffage classique orienté convectif).
2. juillet 1997 → octobre 1997 :
 - Choix de solutions.
3. juillet 1997 → septembre 1998 :
 - Evaluations expérimentale et numérique des solutions choisies ;
 - Validation.

On présente ci-dessous le diagramme représentant l'apport des trois partenaires (LAA, LESETH et PSA) tout au long de l'étude.



Ce rapport décrit brièvement la participation du LESETH :

- La modélisation informatique de la situation thermique du conducteur ;
- La participation à l'instrumentation du véhicule expérimental ;
- Les résultats obtenus.

1. LE MODELE DE THERMOREGULATION : Un outil pour l'évaluation du confort thermique

1.1. Présentation du modèle existant

Le modèle MATHER (MANnequin THERmique) utilisé dans cette étude est issu des modèles de thermorégulation humaine [1] et de sensations thermiques [2], développés au laboratoire et validés dans des conditions de l'habitat. Nous y avons apporté de nombreuses modifications afin de les adapter aux conditions particulières du véhicule [3,4].

MATHER est un modèle à 29 nœuds : 7 segments (tête, tronc, bras droit, bras gauche, mains, jambes et pieds). Chaque segment est subdivisé en 4 couches et le flux sanguin relie toutes les couches entre elles (Cf. Figure 1.1-1). Tous les transferts thermiques à l'intérieur du corps humain et à la surface de la peau sont calculés en tenant compte des réactions physiologiques (transpiration, frissons, ...) que l'individu met en jeu pour faire face aux contraintes de son environnement.

D'autre part, le modèle donne une estimation subjective de confort sur une échelle thermosensorielle en 9 points :

1 : très froid	2 : froid	3 : frais
4 : confort frais	5 : confort	6 : confort chaud
7 : chaud	8 : très chaud	9 : étouffant

Cette échelle est une échelle hybride, regroupant la sensation thermique et le confort thermique, imposée par PSA lors des précédents contrats.

Les sensations thermiques locales sont calculées à partir de relations empiriques faisant intervenir les températures cutanées locales et la température d'air inspiré. Ces relations sont basées sur de nombreux résultats expérimentaux. Ces sensations ne représentent pas la réponse d'un consommateur moyen ; elles permettent d'évaluer comment un climat thermique peut être ressenti par un être humain particulier, l'essayeur ayant participé à toutes les campagnes expérimentales.

La modélisation de la thermique de l'habitacle n'est pas l'objet de l'étude. On calcule uniquement les effets des conditions climatiques intérieures du véhicule sur un sujet. Les entrées de MATHER, provenant d'expériences, de mesures, ou d'autres modèles, sont les suivantes (Cf. Figure 1.1-2) :

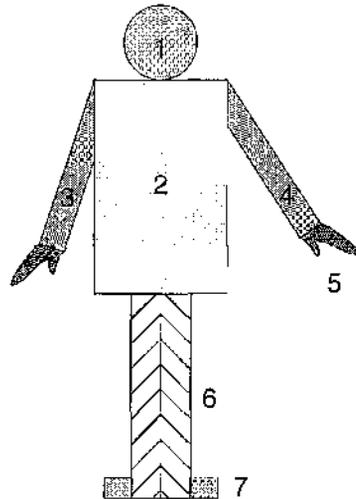
- Le Métabolisme estimé ;
- Des mesures au fil du temps qui alimentent MATHER :
 - Humidité relative (HR), Températures d'air (Tair) ;
- Des mesures préalables :
 - Vitesses d'air (Vair) ;
- Des mesures au fil du temps qui alimentent le module de calcul du rayonnement :
 - Températures de surface (Ts).

Les sorties principales sont les températures cutanées locales et moyennes (Tsk), les températures de surface des vêtements (Tcl) et les sensations thermiques locales et globales (Sens).

De très nombreuses variables sont également disponibles, par exemple les flux échangés par convection, le rayonnement ou l'évaporation sur chaque segment. Ceci permet d'étudier en détails les modes d'échanges prépondérants sur chaque segment.

7 segments

- 1 tête
- 2 tronc
- 3 bras droit
- 4 bras gauche
- 5 mains
- 6 jambes
- 7 pieds



4 couches

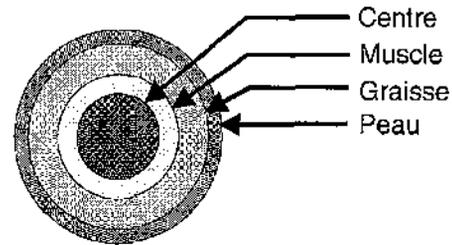


Figure 1.1-1 : Modèle de thermorégulation

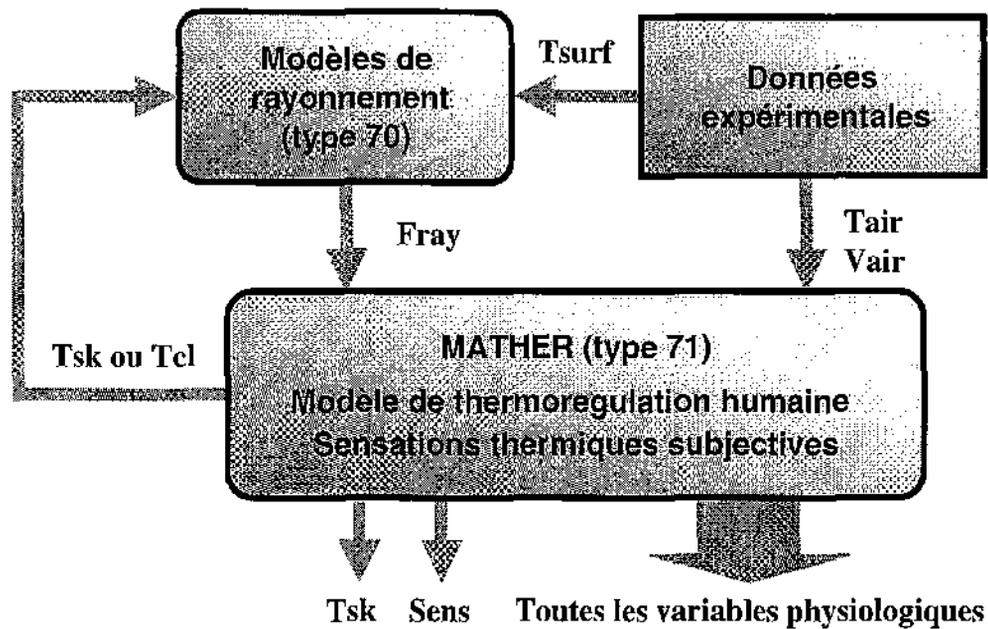


Figure 1.1-2 : Schéma de principe de l'environnement pour les simulations

1.2. Les échanges radiatifs

Etant donnée la proximité des surfaces qui peuvent être à des températures très différentes les unes des autres, il faut calculer avec précision les échanges radiatifs dans l'infrarouge.

Le calcul des échanges radiatifs est décomposé en deux parties : le calcul des facteurs de forme, purement géométrique, puis le bilan radiatif entre les différentes surfaces à partir des facteurs de formes. Les deux étapes sont exécutées séparément. La première étape est effectuée une seule fois pour chaque configuration géométrique considérée (ou au moins pour chaque véhicule).

Le calcul est basé sur la méthode des flux nets. Nous en rappelons les hypothèses :

- Les surfaces sont opaques au rayonnement infrarouge, elles sont grises et diffusantes en émission et en réflexion ;
- Leurs propriétés radiatives sont indépendantes de la direction d'émission ;
- Chaque surface considérée est isotherme (la surface i est à température T_i) ;
- Le flux incident provenant des autres surfaces est réparti uniformément ;
- L'air traversé par le rayonnement est considéré comme parfaitement transparent. Il ne participe donc pas aux échanges.

Le calcul des flux rayonnés constitue le type 70 (Cf. Figure 1.1-2).

1.3. Adaptation à l'étude

Une adaptation du logiciel de simulation a été nécessaire. En effet, le logiciel de simulation complet (MATHER + les autres modules associés) avait été entièrement développé (pour la ZX dans un climat artificiel) sous un environnement Macintosh (TrnSys version 13.1). La version récente de TrnSys (version 14.2) fonctionne uniquement sous environnement PC et Windows. Il en résulte qu'une adaptation des modules a été nécessaire à la version 14.2. Cette dernière version utilise un Fortran (Fortran Powerstation 4.0) conçu et optimisé pour Windows 95.

D'autre part, le cadre de l'étude, notamment la réalisation d'essais in-situ (Cf. 2.1) ne permettait pas de mesurer autant de données physiques à l'intérieur de l'habitacle qu'en soufflerie. Nous nous sommes donc attachés à réduire le nombre des entrées nécessaires.

Enfin, la géométrie intérieure de la 106 est différente de celle de la ZX. Cela influe sur le calcul des échanges radiatifs.

1.3.1. Passage de TrnSys 13.1 à 14.2

Pour pouvoir utiliser les codes des programmes conçus pour les études précédentes, nous avons modifié leur Fortran. Nous avons également dû changer le nom du type (ou module) MATHER. Les noms des 3 types sont maintenant :

- Type 71 - MATHER (anciennement Type 54) ;
- Type 70 - Echanges radiatifs infrarouge ;
- Type 74 - Apports solaires.

TrnSys (version 14.2) fonctionne maintenant avec une interface graphique (IISiBat) plus souple d'utilisation. Cette version est plus exigeante notamment en ce qui concerne les

valeurs par défaut. Nous avons dû attribuer une valeur par défaut à tous les paramètres des modules.

Pour vérifier que le passage à la nouvelle version n'altérerait pas les résultats des simulations, nous avons, dans un premier temps, essayé de modifier le moins possible la programmation initiale. Après avoir intégré les modules dans leur nouvel environnement, nous avons simulé plusieurs essais avec les résultats expérimentaux de la ZX. Il s'est avéré que les résultats sont pratiquement identiques à ceux obtenus avec la version 13.1 sur Macintosh (comparaison dans le rapport d'avancement n°1). Il existe une petite différence qui peut être expliquée en grande partie par l'architecture 32 Bits du PC et aussi par le passage en double précision des entrées et sorties des modules.

Cette première étape ayant été effectuée, nous avons pu passer aux modifications nécessaires à l'utilisation avec un autre véhicule.

1.3.2. Réduction des entrées

Les mesures que l'on peut effectuer dans les expériences menées in-situ sur la 106 électrique ne couvrent pas tous les besoins de MATHER. Il est donc important de réduire le nombre de données nécessaires à la simulation. Il n'est pas envisageable d'instrumenter la voiture et le conducteur comme cela était fait en soufflerie.

Nous avons réduit le nombre de données physiques à connaître sans toucher au programme principal. A partir d'un nombre restreint de mesures, on peut fournir au modèle toutes les données nécessaires. Moyennant quelques hypothèses, les données manquantes sont remplacées par d'autres ayant sensiblement la même valeur (ou par une moyenne).

Pour cela, nous avons dégagé (à partir de simulations validées par des expériences en soufflerie) les données prépondérantes ainsi que les plus représentatives pour le calcul des échanges thermiques à l'intérieur de l'habitacle.

Nous avons ensuite comparé les résultats des simulations avant et après modifications afin de valider nos simplifications.

9 températures de surface	4 températures d'air	3 vitesses d'air	1 donnée habitacle
<ul style="list-style-type: none"> • vitre avant gauche • pare-brise • pavillon • portière avant gauche • tableau de bord • plancher • siège conducteur • volant • siège passager 	<ul style="list-style-type: none"> • tête • tronc • mains • pieds 	<ul style="list-style-type: none"> • tête • mains • pieds 	<ul style="list-style-type: none"> • humidité relative

Figure 1.3-1 : Données physiques nécessaires aux simulations

La Figure 1.3-1 regroupe les données physiques qui doivent être impérativement fournies au nouveau modèle. Elles sont au nombre de dix-sept. Ceci est un nombre minimum, la connaissance de données supplémentaires permet de se rapprocher des conditions optimales de simulation (toutes les entrées du modèle connues).

1.3.3. Calcul des facteurs de forme

A partir du fichier C.A.O. de la 106 et de celui d'un mannequin, nous avons réalisé une géométrie spécifique au calcul des transferts radiatifs entre le conducteur et la voiture. Nous avons cependant dû faire certaines hypothèses, afin de simplifier la géométrie complexe de l'ensemble :

- Etant donné qu'il n'y a pas de transferts radiatifs sur les surfaces du conducteur qui sont en contact avec le siège, nous avons supprimé ces parties inutiles au calcul du rayonnement.
- Pour des raisons évidentes, il est important de décrire finement la géométrie des surfaces qui "voient" le plus le conducteur. Ainsi la partie avant de l'habitacle est restée proche de la réalité alors que la partie arrière est largement simplifiée.

A partir de cette géométrie, les facteurs de formes sont calculés par intégration numérique après avoir regroupé les différentes surfaces ayant des températures identiques. Chaque surface devant être isotherme, nous avons tenu compte des différentes répartitions en températures mesurées.

La géométrie obtenue comprend environ 500 surfaces élémentaires différentes, que nous avons regroupées en 22 familles de température : 15 pour le véhicule et 7 pour le conducteur. Nous obtenons une matrice de facteur de forme de dimension 22×22 . La valeur des facteurs de formes "surfaces habitacle \leftrightarrow surfaces conducteur " permet d'avoir une idée de l'influence qu'aura chaque surface sur les échanges radiatifs. Les facteurs de forme $F(i,i)$ ne sont pas nuls, car il s'agit de groupe de surfaces qui ne sont pas toujours coplanaires. Le temps de calcul de ces facteurs de forme est assez long (6h), mais il n'est réalisé qu'une seule fois. Le fichier ainsi obtenu est ensuite stocké dans un fichier qui sera utilisé par le modèle d'échanges radiatifs (Cf. Annexe).

1.4. Contact avec le volant

Le volant chauffant a été un mode de chauffage plébiscité par les conducteurs. Le modèle MATHER (type 71) de base n'intégrait pas le contact avec le volant chauffant, nous l'avons donc modifié en ce sens. En effet, dans sa configuration actuelle, le conducteur a les mains en l'air sans contact avec le volant. Pour chaque segment du conducteur, on fait, à chaque pas de temps, le bilan thermique des quatre couches (sang, muscle, graisse et peau). Pour tous les segments, on ne prend en compte (pour le bilan extérieur) que les échanges convectifs et radiatifs. Si on veut modéliser le contact entre les mains du conducteur et le volant, on doit modifier les bilans thermiques sur les mains.

Nous avons réalisé une série d'expériences permettant de mesurer le flux échangé entre le volant et les mains (Cf. Figure 1.4-1).

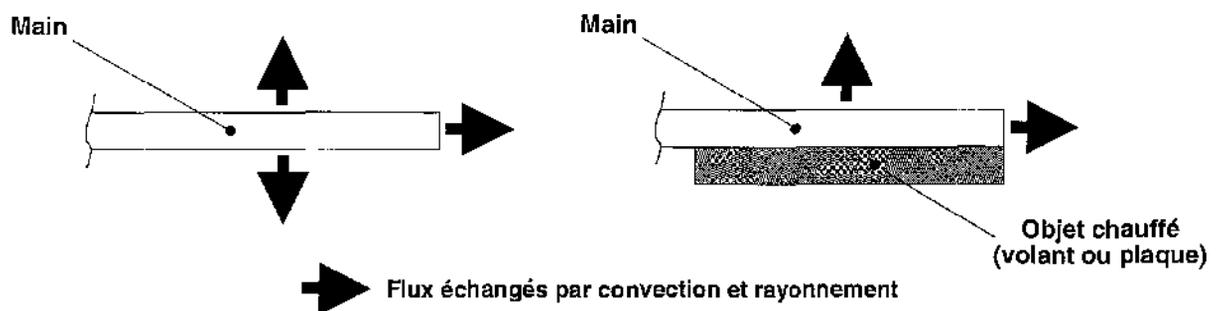
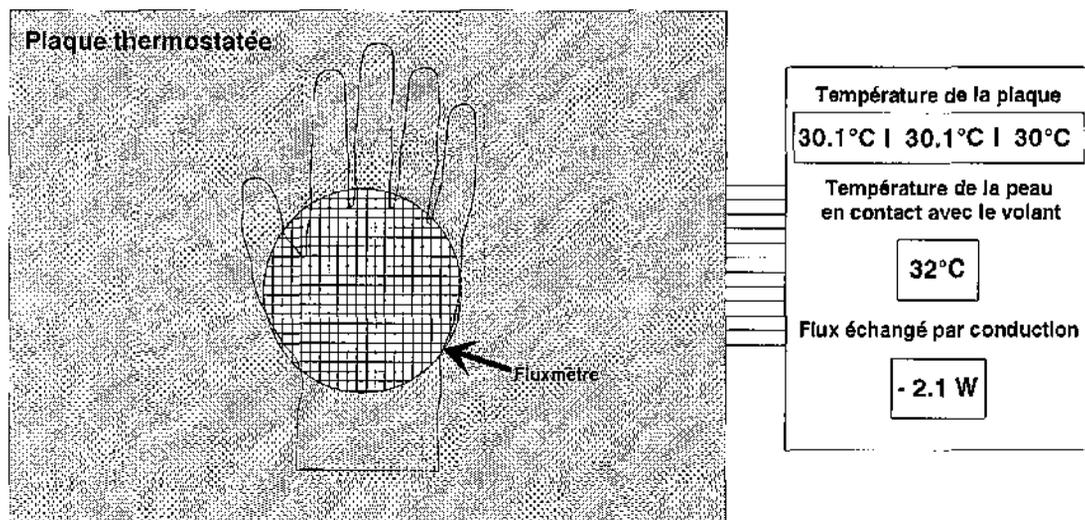


Figure 1.4-1 : Schéma de l'expérience

La Figure 1.4-1 schématise l'expérience. On dispose d'une plaque plane réglée en température par un bain thermostaté. On pose la main sur la plaque en intercalant un fluxmètre étalonné. Les flux mesurés ainsi que les températures de la peau et de la plaque permettent de calculer une résistance de contact entre la main et le solide. C'est à partir de cette résistance que le modèle calcule ensuite le flux à chaque pas de temps. Dans MATHER, on considère que la surface de contact entre la main et le volant est sensiblement égale à celle que l'on a établie avec la plaque thermostatée. Les flux échangés avec l'environnement par convection et rayonnement sont diminués au prorata des surfaces d'échanges restantes.

L'introduction de ce flux conductif sur les mains permet à la température de la peau d'évoluer avec celle du volant. On constate que les autres segments ne sont pas fortement influencés par cette variation.

Une étude plus approfondie du contact est à l'étude au LESETH.

1.5. Tableau de calcul des sensations thermiques

Le modèle MATHER avait été validé sur des expériences n'ayant pas été utilisées pour établir le tableau de correspondance entre les sensations locales et les températures. Nous disposons donc d'un modèle fiable, à condition de se replacer dans les conditions des expériences du contrat MATHER [1]. Or, dans ces expériences, la température de l'air au voisinage du corps était mesurée suivant un protocole (décrit dans les rapports d'avancement et le rapport final du contrat) qui faussait systématiquement la valeur de cette température. En effet, on a constaté ultérieurement que le masque de protection infrarouge servant de support au thermocouple et collé sur la peau (ou sur les vêtements), entraîne une surévaluation de la

température de l'air, due à la conduction thermique dans le métal, lorsque la température de la peau, ou du vêtement, est supérieure à celle de l'air.

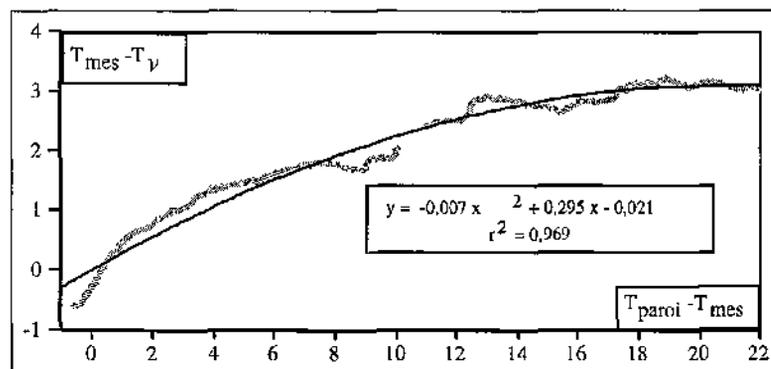
Cela n'entraînait aucune conséquence fâcheuse dans le cadre du contrat MATHER, puisque cette surévaluation se retrouvait aussi bien dans les expériences ayant servi à établir le tableau des sensations que dans les expériences de validation : le tableau incluait cette distorsion de la température de l'air.

Il n'en est plus de même si on souhaite utiliser MATHER dans le cadre de nouvelles expériences, où la température de l'air est mesurée par un thermocouple indépendant du corps, et donc sans surévaluation. Dans ce cas, le tableau reliant sensations et températures n'est plus utilisable.

1.5.1. Modification de la base de données

Les températures d'air les plus faussées sont celles de la tête et des mains, pour lesquelles les supports de thermocouple sont collés sur la peau. Les autres thermocouples étaient fixés sur les vêtements, dont la température est intermédiaire entre celle de la peau et celle de l'air. C'est essentiellement la température de l'air au niveau de la tête qu'il importe de corriger : en effet, elle intervient directement, et très fortement, dans le calcul de la sensation (rappelons que le tableau relie chaque sensation locale à la demi-somme de la température locale de peau et de celle de l'air au niveau de la tête).

Les études menées au LESETH après l'achèvement du contrat MATIER ont permis de relier la température "vraie" de l'air aux températures d'air et de la paroi support mesurées dans les expériences MATHER. La courbe ci-dessous permet de voir la correction qu'il faut effectuer sur la température d'air mesurée, en fonction de l'écart entre cette température et celle du front.



Graphie 1.5-1 : Loi de correction des mesures

- T_{paroi} température de la surface sur laquelle est fixé le système de mesure
- T_{mes} température enregistrée
- T_v température "vraie" de l'air loin de la paroi

Cette correction atteint trois degrés lorsque l'écart des températures est de 20°C, puis se stabilise. Entre 0°C et 20°C, la correction est de forme polynomiale :

$$C = -0.007 \times (T_{front} - T_{air})^2 + 0.295 \times (T_{front} - T_{air}) - 0.021$$

Les valeurs de T_{front} et T_{air} mesurées font partie de la base de données MATHER. Nous avons remplacé dans toute la base la valeur de T_{air} par la valeur corrigée ($T_{air} - C$).

Nous obtenons ainsi une nouvelle base de données où la température de l'air au voisinage de la tête est celle qui aurait été mesurée avec un thermocouple indépendant.

1.5.2. Modification des tableaux des sensations

En partant de cette nouvelle base, nous avons établi les nouveaux tableaux (un pour l'hiver, un pour l'été) de relation entre les sensations et les températures. Pour cela, nous avons éliminé toutes les expériences avec un ensoleillement non nul, puisque l'effet du soleil sur les sensations est pris en compte par un "bonus solaire" qui vient s'ajouter à la valeur de la sensation hors soleil (voir les rapports du contrat MATHER).

Rappelons que les températures portées dans la Figure 1.5-2 sont la demi somme de la température de peau du segment considéré et de celle de l'air au niveau de la tête.

SENSATION		1	2	3	4	5	6	7	8	9
HIVER	tête	21.96	22.9	25.19	27.37	29.45	31.61	33.49	34.68	36.26
HIVER	tronc	24.65	24.95	26.54	28.08	30.03	32.51	34	35.2	37.02
HIVER	bras_D	22.6	23.38	25.07	26.99	29.22	31.15	33.43	34.56	36.31
HIVER	bras_G	21.65	23.71	24.49	26.65	29.17	31.66	32.82	34.38	35.84
HIVER	mains	19.53	20.9	22.07	23.83	27.4	30.07	34.05	35.95	37
HIVER	jambes	20.91	22.52	23.56	26.62	28.72	30.73	32.57	34.22	36.42
HIVER	pieds	20.26	20.73	21.98	24.28	27.1	30.52	32.53	35.06	37.45
HIVER	global	22.83	23.41	24.67	26.96	29.14	30.67	33	34.91	36.42
ETE	tête	23.9	24.19	25.94	27.83	30.02	32.94	35.31	37.12	38.74
ETE	tronc	24.66	25.85	26.86	27.86	30.12	32.72	34.69	36.45	37.55
ETE	bras_D	22.34	24.48	26.13	27.57	30.28	32.56	35.05	36.41	38.16
ETE	bras_G	22.6	24.06	25.47	26.66	29.54	32.67	35.28	36.69	37.49
ETE	mains	20.59	22.65	24.42	26.07	28.93	33.28	35.45	36.7	38.96
ETE	jambes	22.7	24.44	25.37	26.59	29.45	33.32	35.11	36.81	37.79
ETE	pieds	21.08	23.08	24.66	26.08	28.99	33.43	34.94	36.17	37.7
ETE	global	23.63	24.57	26.11	27.52	29.89	32.74	34.57	36.35	37.87

Figure 1.5-2 : Nouveaux tableaux pour le calcul des sensations – Températures moyennes correspondant à chaque sensation

Les nouveaux tableaux sont donc sensiblement différents des précédents, puisque la température d'air, qui intervient pour moitié, peut différer de 3 °C lorsqu'elle est très basse. Ainsi, dans les basses valeurs de la sensation, c'est à dire dans la première colonne du tableau, l'écart peut être de 1.5°C.

L'introduction de ce nouveau tableau de sensations dans le fichier de paramètres de MATHER donne une plus grande généralité à ce modèle : il n'est plus nécessaire de mesurer les températures d'air par la méthode utilisée au cours des expériences de mise au point et de validation du modèle. Ce nouveau tableau a été utilisé pour les simulations concernant les expériences de l'hiver 1998 sur la 106 équipée du nouveau système de chauffage (Cf. 3.3).

1.5.3. Vérification du nouveau tableau

Nous avons vérifié que la modification introduite dans le tableau n'altérerait pas la validité de MATHER.

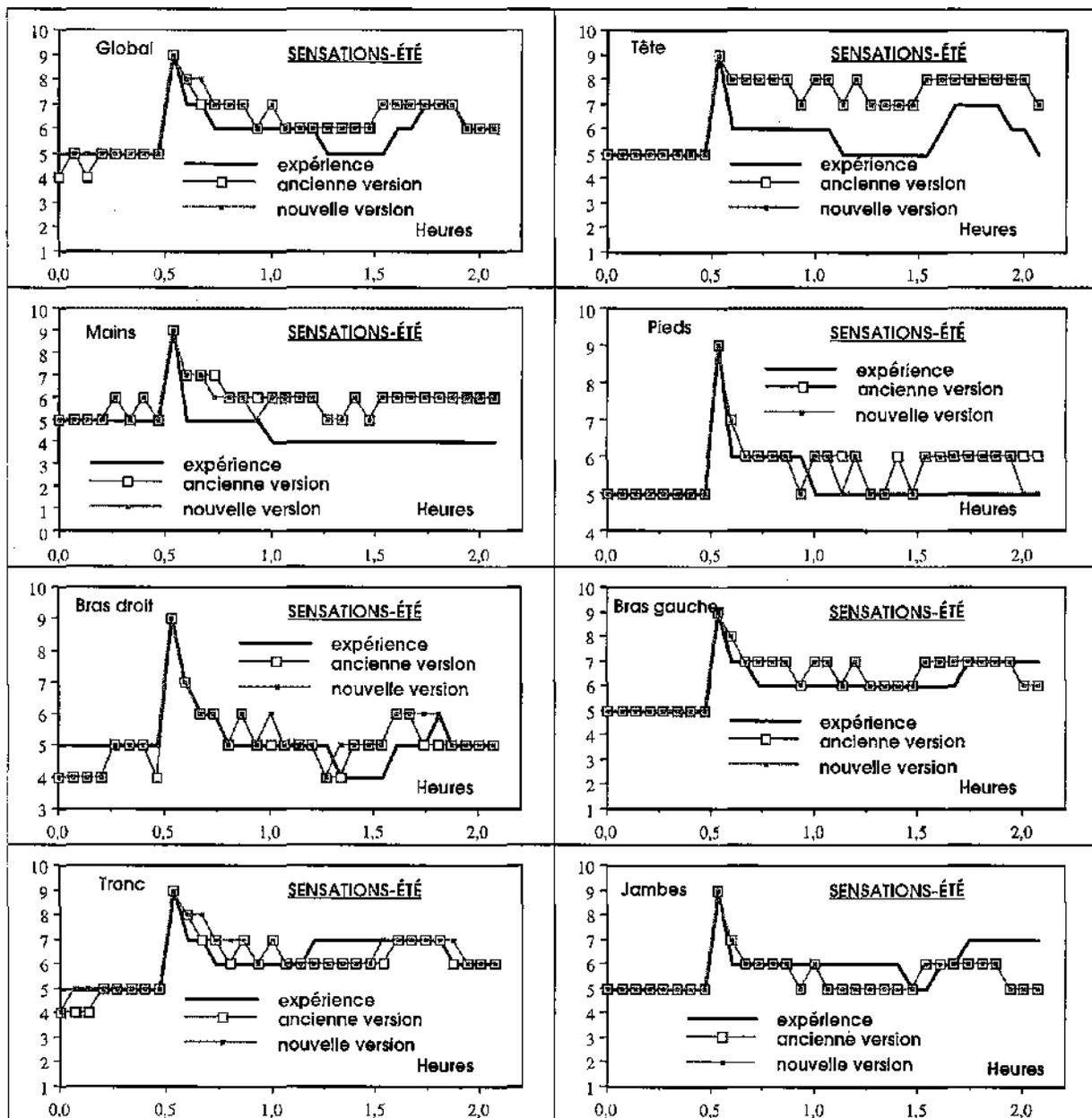
MATHER est validé par des expériences spécifiques (gammes d'essai) en soufflerie, dont les données n'ont pas servi à la mise au point du modèle. Trois gammes d'essai ont été réalisées en conditions d'hiver et deux en été. Pour ces cinq expériences, nous avons comparé

les résultats de simulation obtenus avec le tableau d'origine et la température de l'air au niveau de la tête mesurée en soufflerie à ceux obtenus avec le nouveau tableau et la température d'air corrigée. Les résultats montrés ci dessous concernent deux gammes uniquement (les autres leur sont très proches), une pour les conditions d'été (essai 72), une pour l'hiver (essai 39).

Il convient de comparer sur chaque figure les courbes obtenues avec l'ancien tableau et les valeurs mesurées (ancienne version) et celles données par le nouveau tableau et les températures corrigées (nouvelle version). Les écarts sont minimes, voire inexistant.

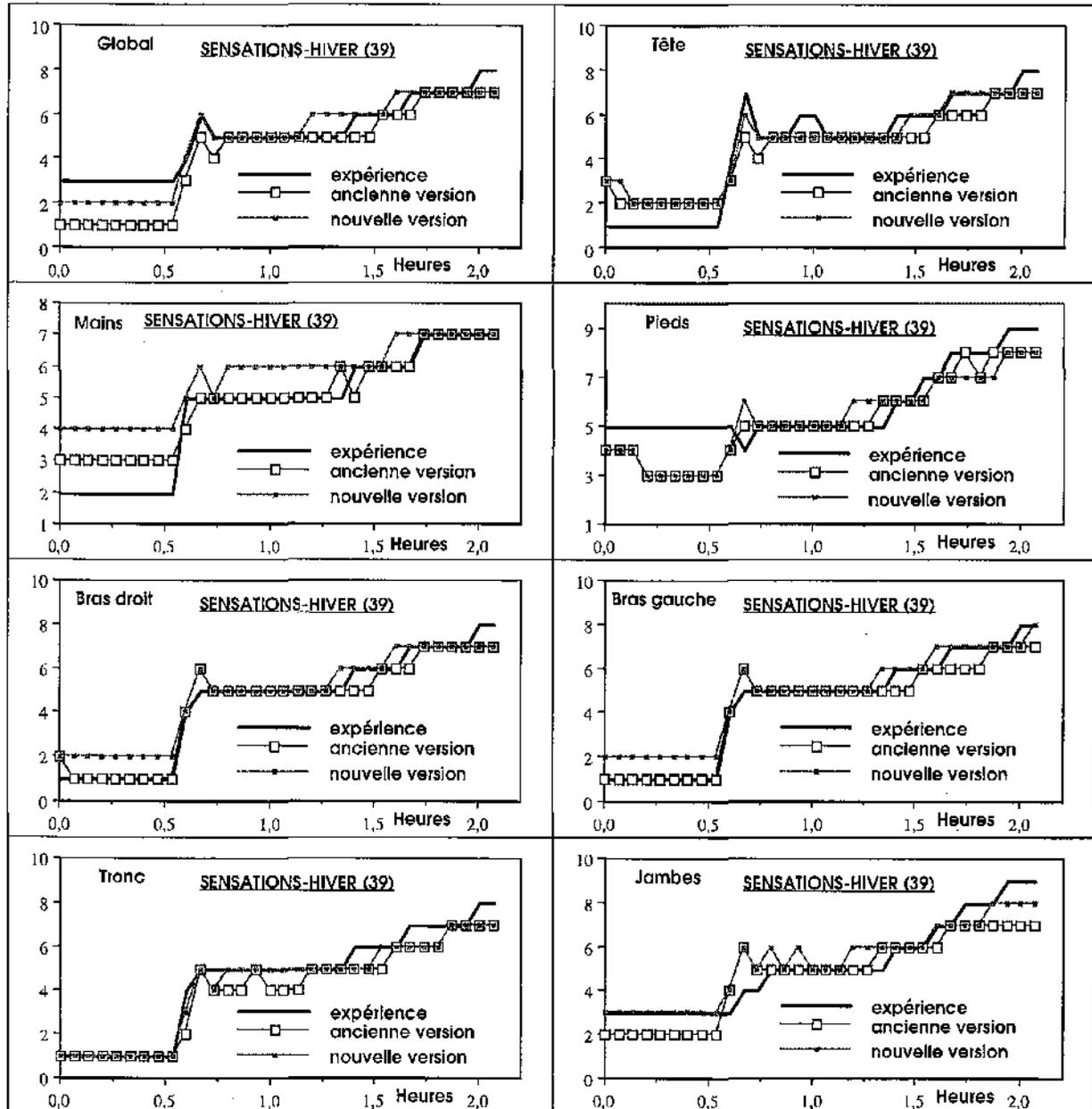
Les courbes représentant l'expérience (sensation exprimée par l'essayeur) sont là pour voir si, en cas de divergence entre l'ancienne et la nouvelle version, le calcul se rapproche ou s'éloigne de l'expérience. En ce qui concerne les expériences d'été (Cf. Figure 1.5-3), il n'y a pas de tendance notable : on peut dire que le nouveau tableau est parfaitement validé.

Figure 1.5-3 : Conditions été



On peut trouver plus de différences dans les courbes représentant les expériences d'hiver (Cf. Figure 1.5-4). Notamment, lorsque les valeurs de la sensation sont très basses, pendant la première période de trente minutes ; cela correspond aux valeurs du tableau pour lesquelles les modifications sont les plus importantes. Les comparaisons avec l'expérience ne permettent pas de dire si ces écarts vont dans le bon sens ou non : c'est le cas pour certaines figures (global, par exemple), mais pas pour d'autres (mains). On peut donc dire, ici aussi, que le nouveau tableau donne des résultats satisfaisants.

Figure 1.5-4 : Conditions hiver



2. INSTRUMENTATION DU VEHICULE ET CAMPAGNES EXPERIMENTALES

La 106 électrique 433 LYP 75 est instrumentée de façon à recueillir les données physiques utiles pour évaluer son état thermique lors des essais in-situ. Toutes ces données sont nécessaires pour alimenter le modèle. Nous avons pris en charge l'instrumentation du véhicule (choix du type de capteurs, emplacement, etc.) et l'intégration a été entièrement réalisée à Vélizy avec notre participation.

2.1. Les expériences in-situ

Deux campagnes d'essais ont été menées à Vélizy sur un même trajet type urbain périurbain avec un panel de vingt six conducteurs (exclusivement des volontaires du groupe PSA). Le protocole expérimental est le même pour tous les essais. Seul le questionnaire du LAA (son contenu et sa fréquence) a été modifié entre les deux campagnes. Pour chaque essai, il y a deux personnes dans le véhicule, le conducteur et à l'arrière une personne du LAA.

2.1.1. La première campagne d'essais (hiver 1997) : le véhicule de base à chauffage convectif

Cette campagne, utilisée pour évaluer les besoins de chauffage dans un véhicule électrique possédant un chauffage classique (thermique) convectif, a été très utile pour la suite de l'étude. Elle a notamment mis en évidence la difficulté de reproduire sur le terrain les essais en soufflerie. L'utilisation de la boîte à sensation c'est avérée trop difficile à manipuler par le conducteur pendant la conduite. Les corrélations expériences/calculs ont été faites à partir des données recueillies dans les questionnaires.

Les conditions climatiques durant la période d'essais (trois semaines) n'ont pas été très froides (Cf. Rapport d'avancement du LESETH n°3). Nous avons rencontré des problèmes d'acquisition de données pour les vitesses d'air qui sont apparues anormalement élevées. Le problème n'est toujours pas résolu. Une expérience menée avec un anémomètre à fil chaud portatif nous a permis d'évaluer les vitesses d'air proches du conducteur et ces valeurs sont utilisées pour les simulations. Des mesures complémentaires de température d'air inhalé (proche de la tête) ont aussi été réalisées en chambre climatique (Cf. 2.3) pour affiner le calcul.

2.1.2. La deuxième campagne d'essais (hiver 1998) : le prototype de chauffage radiatif

La deuxième campagne d'essais a nécessité une instrumentation beaucoup plus importante du véhicule. Les éléments constituant le nouveau chauffage ont été installés ainsi que des capteurs supplémentaires. Nous avons testé tout le système embarqué lors d'une journée d'essais en chambre climatique avant le début des expériences in-situ. Nous avons aussi effectué des mesures complémentaires sur la température d'air inhalé pour cette nouvelle configuration. Les conditions climatiques ont été beaucoup plus clémentes et proches de celles souhaitées pour l'étude (couvert, froid et sec). La température extérieure a toujours été proche de 0°C durant la période d'essais contre 8 à 9 °C pour la campagne précédente. En plus des vingt quatre essais (deux défections parmi les volontaires), nous avons testé le préchauffage de la voiture sur huit conducteurs.

2.2. Equipement du véhicule

L'instrumentation et l'équipement du véhicule ont été réalisés en deux phases. Dans un premier temps la voiture a été équipée de capteurs reliés à une centrale d'acquisition embarquée. C'est avec ce système que la première campagne d'essais a été réalisée (Hiver 1997).

Le véhicule a ensuite été équipé du nouveau système de chauffage pour les essais de l'hiver 1998. Nous présentons ici les systèmes actuellement présents dans la voiture.

2.2.1. Les éléments du chauffage radiatif

Les éléments chauffants sont les suivants (Cf. Figure 2.2-1) :

- Pare-brise de type EKO ;
- Volant ;
- Sièges conducteur et passager (assise + dossier) ;
- Appui-tête conducteur ;
- Tapis avant (conducteur et passager)
- Garniture sous la colonne de direction ;
- Garniture du pavillon (parties avant et arrière).

De plus, bien qu'ils ne soient pas chauffés, on peut considérer que les vitrages latéraux (EKO) participent à l'amélioration du système.

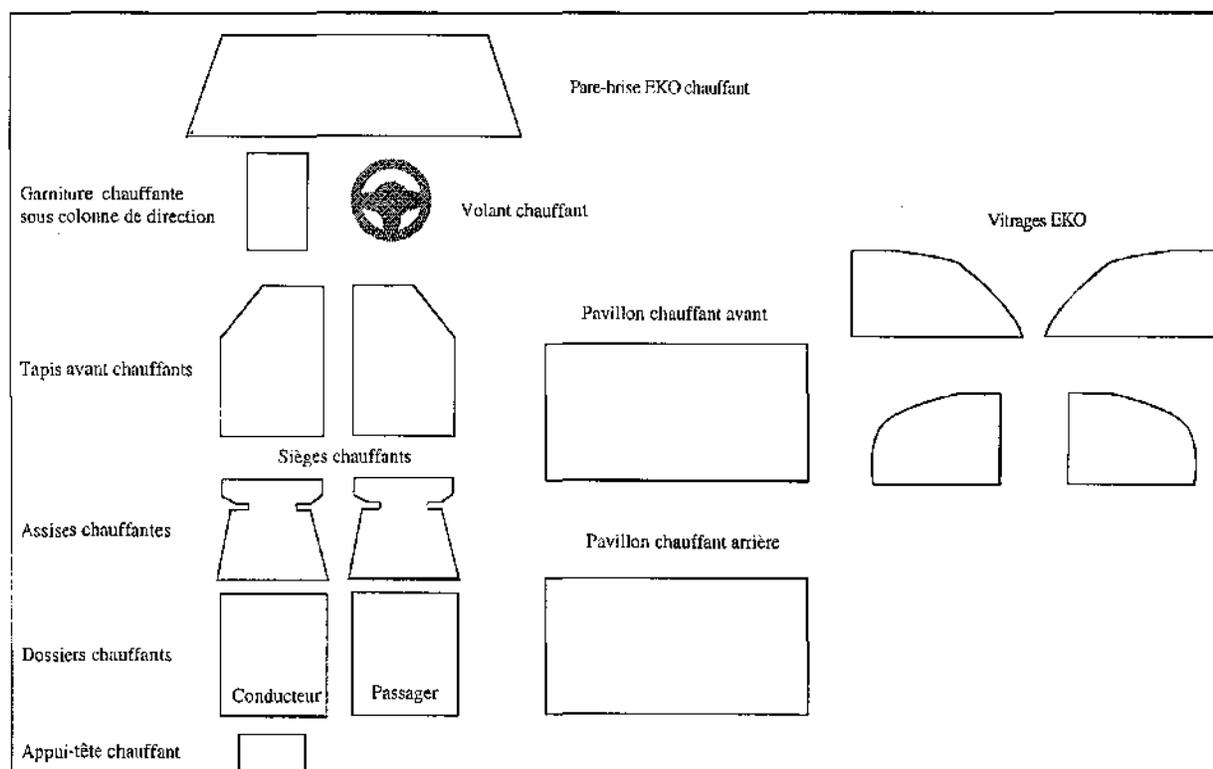


Figure 2.2-1 : Les éléments chauffants

Les vitrages de type EKO proviennent d'une étude précédente menée à la DRAS avec St-Gobain. Le volant chauffant est un volant qui équipe un autre type de véhicule du groupe.

Tous les autres éléments sont chauffés à l'aide de réseaux chauffants régulés provenant de la firme SDANDMEC (Suède). Cette société a aussi fabriqué le tableau de commande.

Les éléments chauffants ne sont pas actionnés par le conducteur mais par la personne chargée des essais qui est assise à l'arrière du véhicule. Seul le volant dispose d'un interrupteur permettant sa mise en route par le conducteur (le voyant de marche-arrêt et l'interrupteur sont situés sur le volant). Le pare-brise est commandé via un relais par un interrupteur placé à l'arrière. Les autres éléments sont commandés à l'aide d'un boîtier de commande situé derrière le siège passager. Ce boîtier permet de commander les huit réseaux chauffants. On peut remarquer que l'assise et le dossier des sièges chauffants sont commandés en même temps (un seul bouton marche-arrêt pour chaque siège). Pour les autres éléments, en plus de l'interrupteur marche-arrêt, on dispose d'un potentiomètre permettant de choisir la puissance électrique (0 à 100%)

Après avoir envisagé un système "sèche cheveux" (ventilateur brassant de l'air à travers une résistance chauffante) nous avons adapté le système de chauffage existant. Nous avons obturé toutes les bouches d'aération de la voiture et placé un tuyau flexible isolé à la sortie de la soufflerie. Tout l'air chauffé et pulsé par le chauffage passe par ce tuyau pour être amené à proximité de la tête du conducteur. Nous avons placé un dispositif de régulation et d'orientation du débit d'air à la sortie du tuyau (un diffuseur de 406). On fixe la vitesse ainsi que la température d'air avec les commandes de chauffage classique pour chaque expérience. Ce système devait permettre d'amener de l'air à température moyenne (entre 16 et 20°C) à proximité de la tête. Cet air, qui correspond à la température d'air inhalé pour le modèle, ne doit pas être trop froid sous peine de réduire fortement les sensations de confort.

Ce dernier point pose problème actuellement car il s'est avéré impossible durant les essais de régler correctement la température et le débit de l'air soufflé. Ce débit mal contrôlé peut occasionner une gêne au conducteur si la vitesse d'air proche de la tête est trop importante (supérieure à 0.05 m/s).

2.2.2. Les capteurs

La 106 a été équipée de façon à connaître le maximum de données physiques tout en essayant de ne pas trop perturber la conduite. En plus des capteurs, nous avons installé tout le système d'acquisition embarquée. On présente ci-dessous les caractéristiques techniques d'une partie du matériel utilisé ainsi que le nom et l'emplacement des capteurs :

Ondulateur 120/12V	SINEWAVE modèle EA MEC 505 505-12A
Caméra	PANASONIC modèle Color System CD1
Magnétoscope	HITACHI modèle LAP TOP-AV HQ VHS
Centrale d'acquisition	SM2i IOTECH modèle DAQBOOK SM-120 - 2 cartes températures : DBK 19 SM - 2 cartes tensions : DBK 8 SM1
Thermocouples	Type K
Sondes vitesse d'air	MTE modèle TAV-F10
Sonde hygrométrique	PHILIPS
PC d'acquisition	PC Portable et logiciel DAQVIEW

Il y a trente capteurs branchés sur la centrale d'acquisition :

- 3 sondes pour la mesure des vitesses d'air :

- 2'-VairT → sonde placée à 15 cm (derrière à droite) de la tête du conducteur ;
 - 3'-VairM → sonde placée devant les mains du conducteur ;
 - 4'-VairP → sonde placée à côté des pieds (à droite des pédales).
- 1 capteur d'humidité relative :
 - 5'-Hr → placé sur le support central au milieu du pavillon côté conducteur.
 - 1 capteur de flux solaire :
 - 6'-FluxS → placé au milieu la planche de bord proche du pare-brise.
 - 8 thermocouples pour les températures d'air :
 - 2-TairTr → température au niveau du tronc, placé sur la ceinture de sécurité ;
 - 3-TairM → température au niveau des mains, placé sur la sonde 3'-VairM ;
 - 4-TairP → température au niveau des pieds, placé sur la sonde 4'-VairP ;
 - 20-TExt → température extérieure, placé proche du rétroviseur extérieur gauche ;
 - 23-Tair → température de l'air soufflé, placé dans le tuyau proche du diffuseur ;
 - 24-TairT → température au niveau de la tête, placé sur la sonde 2'-VairT ;
 - 26-TairJ → température au niveau des jambes proche des genoux, placé sous la colonne de direction ;
 - 27-TairA → température au niveau du passager arrière droit, fixé sur le support central.
 - 1 capteur de température infrarouge :
 - 7'-Tv>19 → température de surface du volant chauffant, placé devant le volant à environ 5 cm de celui-ci.
 - 16 thermocouples pour les températures de surface :

L'emplacement des thermocouples est schématisé sur la Figure 2.2-2.

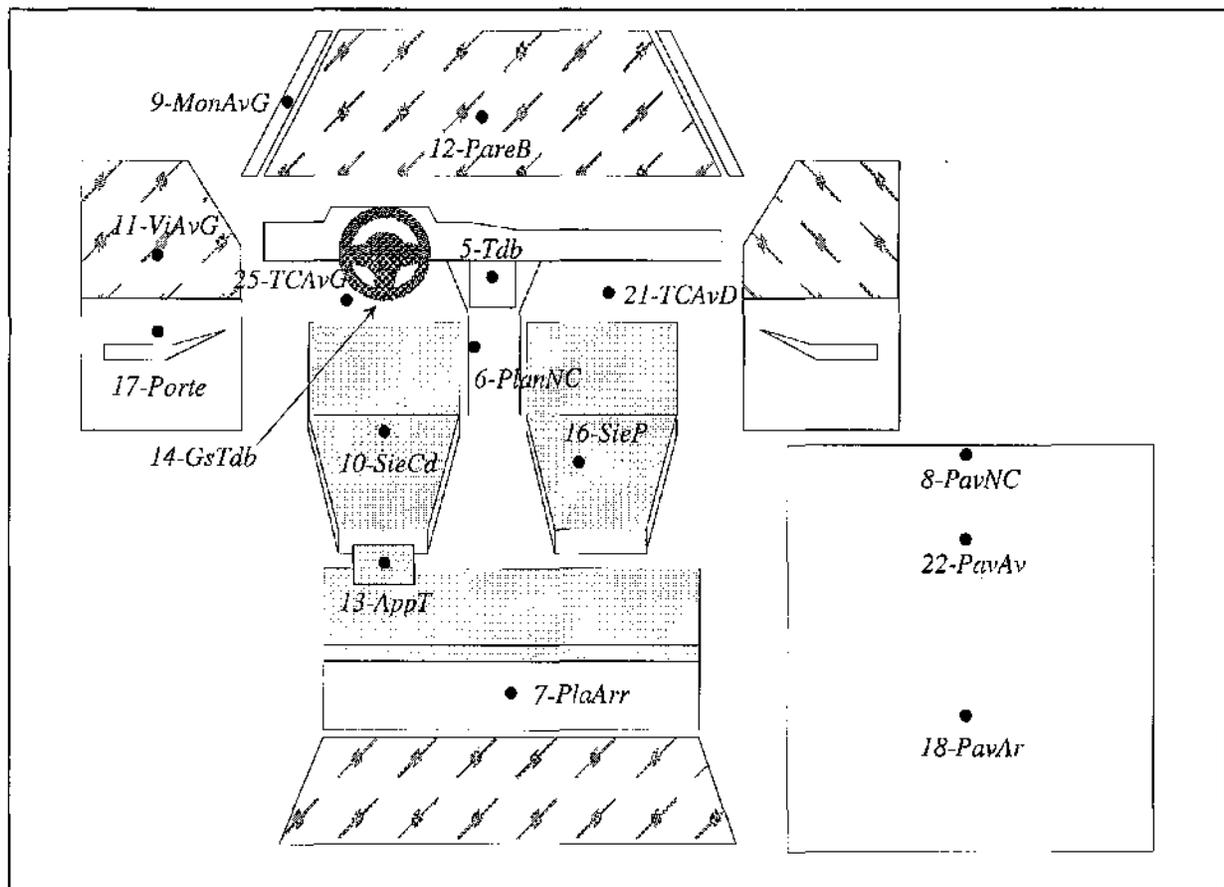


Figure 2.2-2 : Emplacement des capteurs de température de surface

2.3. Evaluation de la température proche de la tête

La température de l'air à proximité de la tête est un paramètre essentiel dans l'évaluation de la sensation thermique. Il est donc important de l'évaluer correctement.

Dans MATHER, la relation permettant de calculer la sensation du segment i est la suivante :

$$\text{Sensation}(i) = f(\text{Tm}(i)) \quad (\text{a})$$

$$\text{Tm}(i) = 0.5 \times \text{Tsk}(i) + 0.5 \times \text{Tair}(1) \quad (\text{b})$$

avec :

- $f(\text{Tm}(i))$ fonction non linéaire
- $\text{Tsk}(i)$: température de peau du segment i
- $\text{Tair}(1)$: température de l'air inhalé

La relation (a) a été établie à partir des expériences en soufflerie sur une ZX. $\text{Tair}(1)$ est alors la température mesurée à proximité du visage. Par contre, la température de l'air inhalé utilisée pour les simulations sur la 106 est en fait la température de l'habitacle, car il n'est pas possible de mettre en place un thermocouple qui risquerait de gêner la conduite. Ces deux températures ne sont pas égales, celle à proximité du conducteur étant normalement plus élevée que la température moyenne de l'habitacle.

La relation entre la température de l'air inhalé par le conducteur (proche de la tête) et la température effectivement mesurée lors des essais a été établie pour les deux campagnes d'essais à partir d'expériences en chambre climatique : un thermocouple est collé sur le front de l'essayeur avec la soudure à 1,5 cm de la peau. La voiture placée dans une chambre climatique (température maintenue à zéro degré pendant toute la durée des essais) est dans les mêmes conditions que lors des expériences in-situ (deux personnes à bord). Tous les éléments chauffants fonctionnent.

L'analyse des résultats nous permet d'établir les relations suivantes :

Chauffage conventionnel (orienté convectif) - Première campagne-

- Soufflage position 1 (vitesse d'air faible proche de la tête)

$$T_{inh} = 1.1758 \times T_{air}(1) - 1.2583$$

- Soufflage position 3 (vitesse d'air importante proche de la tête)

$$T_{inh} = -0.0319 \times T_{air}(1)^2 + 2.2664 \times T_{air}(1) - 7.019$$

Nouveau système de chauffage (orienté radiatif) - deuxième campagne-

$$T_{inh} = 0.99 \times T_{airT} + 6.97$$

La Figure 2.3-1 correspond à l'évolution de la température de l'air inhalé par rapport à celle de l'habitacle avec le nouveau système de chauffage.

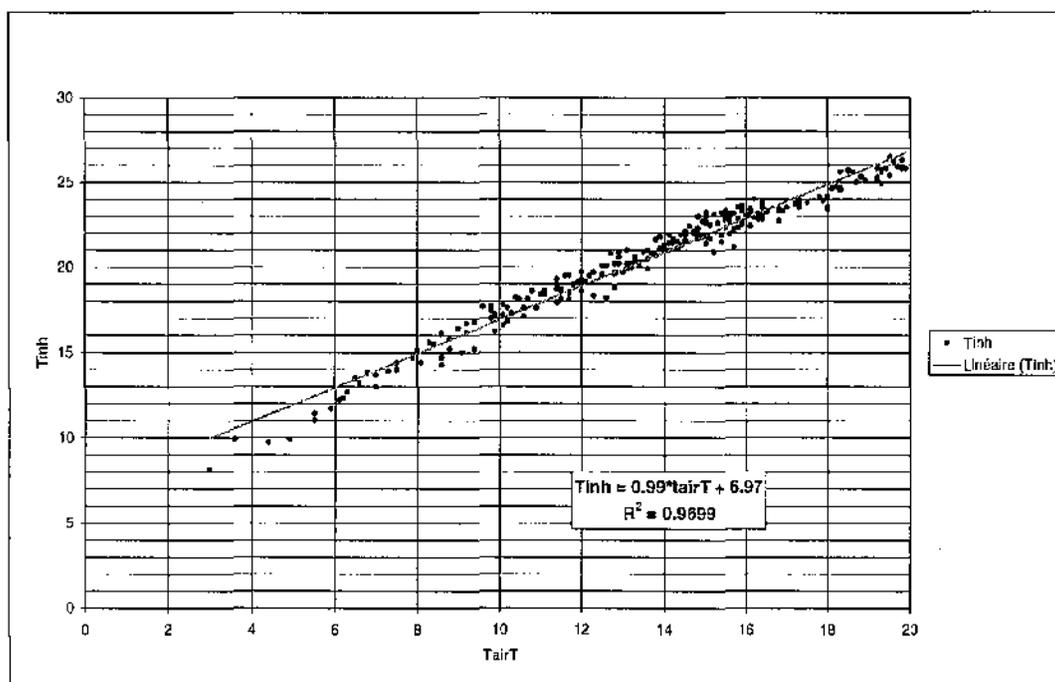


Figure 2.3-1 : Loi d'évolution de la température de l'air inhalé en fonction celle de l'habitacle

Cette dernière relation, très importante (pour la deuxième campagne) a été établie à partir de seulement deux essais en chambre climatique. Elle n'est pas forcément représentative de ce qui se passe réellement dans le véhicule lors des essais in-situ. Il faut toujours l'avoir en tête lors de l'analyse des résultats des simulations.

3. CHAUFFAGE D'UN VEHICULE ELECTRIQUE

Rappelons ici quelques unes des étapes de travail qui ont amené les participants à s'orienter vers le choix d'un chauffage radiatif.

3.1. Analyse du chauffage conventionnel

Cette étape, destinée à acquérir des éléments de référence sur l'appréciation du confort thermique dans un véhicule électrique, est essentiellement basée sur les essais in-situ de l'hiver 1997. A partir des réponses des conducteurs utilisant la 106 avec le mode de chauffage conventionnel, nous avons établi leurs besoins et attentes en terme de confort thermique dans un véhicule de ce type. Ces essais in-situ avec une voiture équipée de capteurs ont été aussi très instructifs pour l'instrumentation de la voiture équipée du nouveau système de chauffage (phase 2). La comparaison simulations MATHER/réponses au questionnaire a aussi permis de justifier l'utilisation du modèle pour cette étude (Cf. exemple Figure 3.1-1).

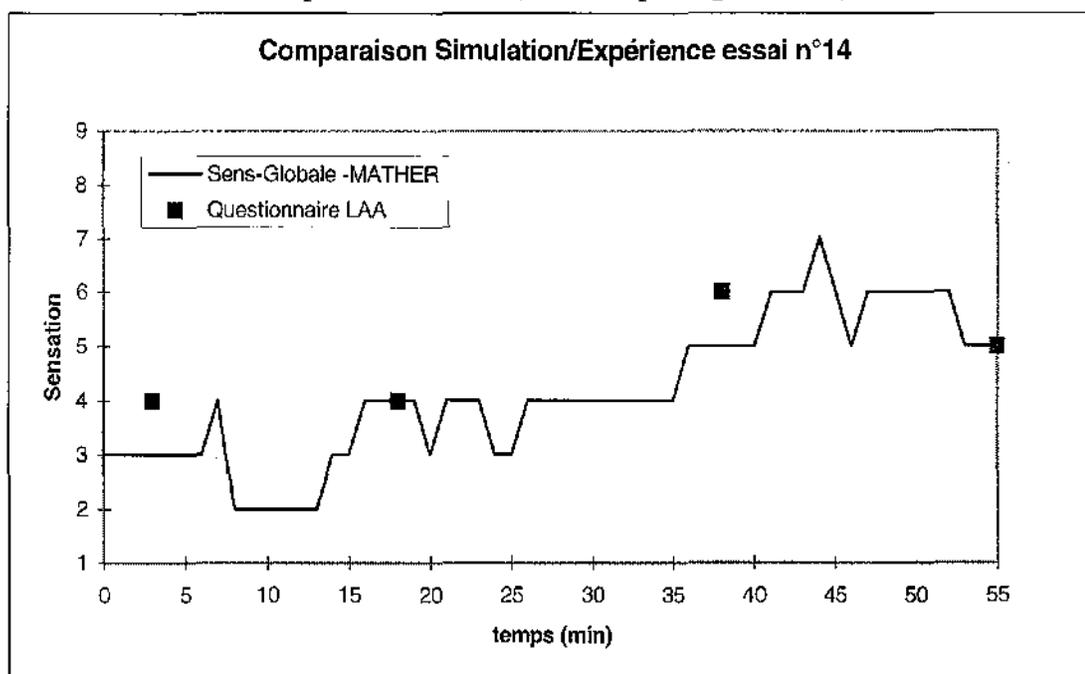


Figure 3.1-1 : Comparaison simulation MATHER/questionnaire LAA

3.2. Tests de prédiction et choix de solutions nouvelles

L'analyse des essais in-situ (attentes des conducteurs en matière de zones à chauffer) nous a permis de proposer une solution alternative de chauffage dans le véhicule électrique orientée radiatif. Nous avons donc décidé de chauffer certaines surfaces de l'habitacle de la 106 afin de diminuer les pertes radiatives du conducteur.

Toujours dans le cadre de la diminution du flux radiatif échangé par le conducteur nous avons utilisé un vitrage EKO à faible émissivité (0.22 contre 0.9 pour un verre classique). Tous les vitrages sont équipés de ce type de verre sauf la lunette arrière. Le pare-brise sera lui aussi EKO. Il sera en plus chauffant afin de nous affranchir des problèmes de désembuage. Le fait que le pare-brise soit chauffant permettra aussi de diminuer les pertes radiatives car il constitue une surface très importante proche du conducteur

Le modèle permet de prévoir et de quantifier l'effet de ces solutions sur le conducteur.

Le graphique ci-dessous (Cf. Figure 3.2-1) représente l'évolution du flux total rayonné avec et sans vitrage EKO. La courbe en pointillés représente aussi le flux total rayonné avec vitrage EKO mais avec en plus un garnissage sous colonne de direction à faible émissivité (0.6).

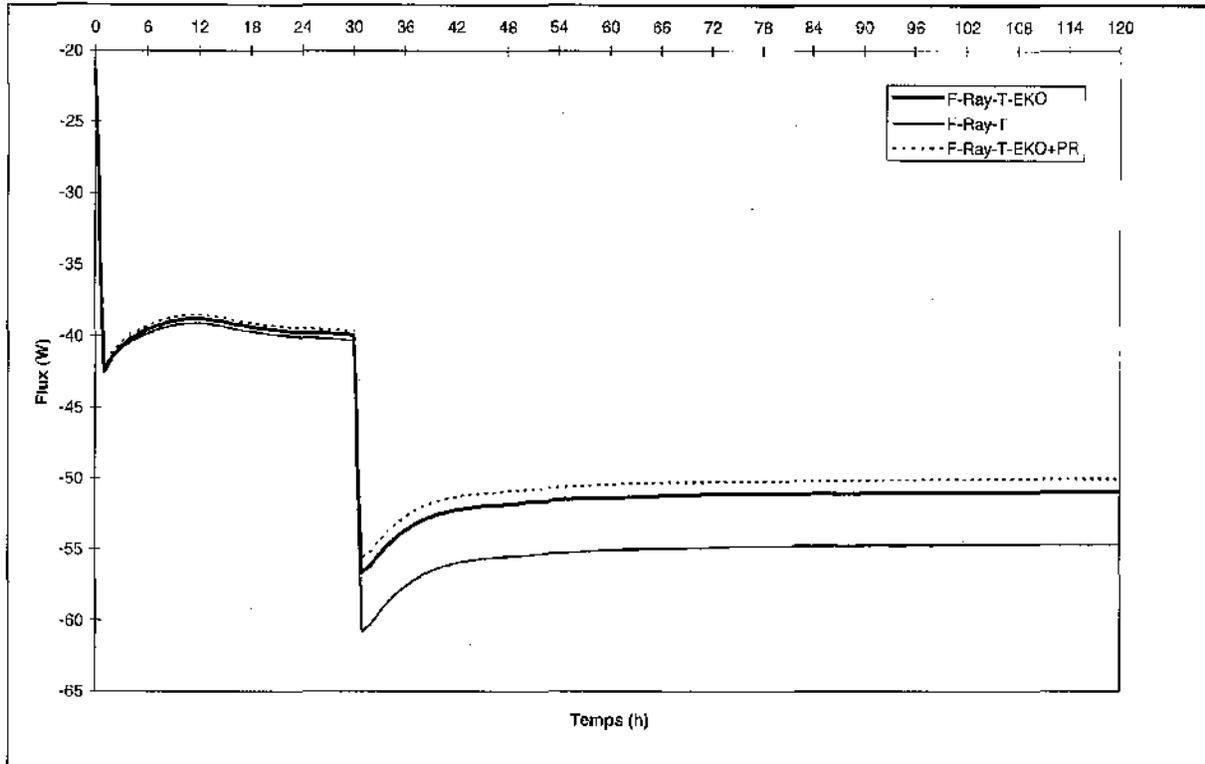


Figure 3.2-1 : Comparaison pertes radiatives avec et sans vitrage EKO

On observe bien l'influence positive des vitrages EKO. La différence est comprise entre 4 Watts et 5 Watts ce qui correspond à environ 9% de gain. Ce gain est plus important sur les grandes surfaces du conducteur proches des vitrages (tête et tronc).

La diminution des pertes radiatives sur chaque partie du conducteur va entraîner une augmentation des températures cutanées. Mais on a vu déjà que la seule augmentation de la température de peau ne suffit pas pour augmenter la sensation. En effet, la température de peau rentre seulement pour moitié dans le calcul des sensations, l'autre moitié étant la température de l'air inhalé.

Nous avons donc choisi d'équiper la voiture en panneaux chauffants. Les surfaces chauffées seront :

- Le pavillon (partie avant et partie arrière)
- L'appui tête
- Le tapis sous les pieds (côté conducteur et côté passager)
- Le pare-brise

On désire connaître l'influence de ces quatre surfaces chauffantes sur le conducteur. On considère que celui entre dans la voiture froide et met en marche successivement les éléments chauffants :

- à 0.6 h → Ts du Pare-brise passe de 10 à 40°C ;
- à 0.7 h → Ts Appui-tête passe de 10 à 40°C ;
- à 0.8 h → Ts Tapis chauffant passe de 10 à 40°C ;
- à 0.9 h → Ts Pavillon passe de 10 à 40°C ;
- à 1.1 h → Tair Pieds passe de 10 à 20°C ;
- à 1.2 h → Tair tête passe de 10 à 20°C .

Les autres conditions sont les suivantes :

- Mise en équilibre initiale de 30 minutes ;
- Températures d'air à 10°C ;
- Températures de surfaces non chauffées à 10°C ;
- Vitesses d'air à 0.1 m/s ;
- Humidité relative égale à 50% ;
- Emissivité des vitrages à 0.4 ;
- Garnissage sous colonne de direction réfléchissant (Emissivité = 0.6).

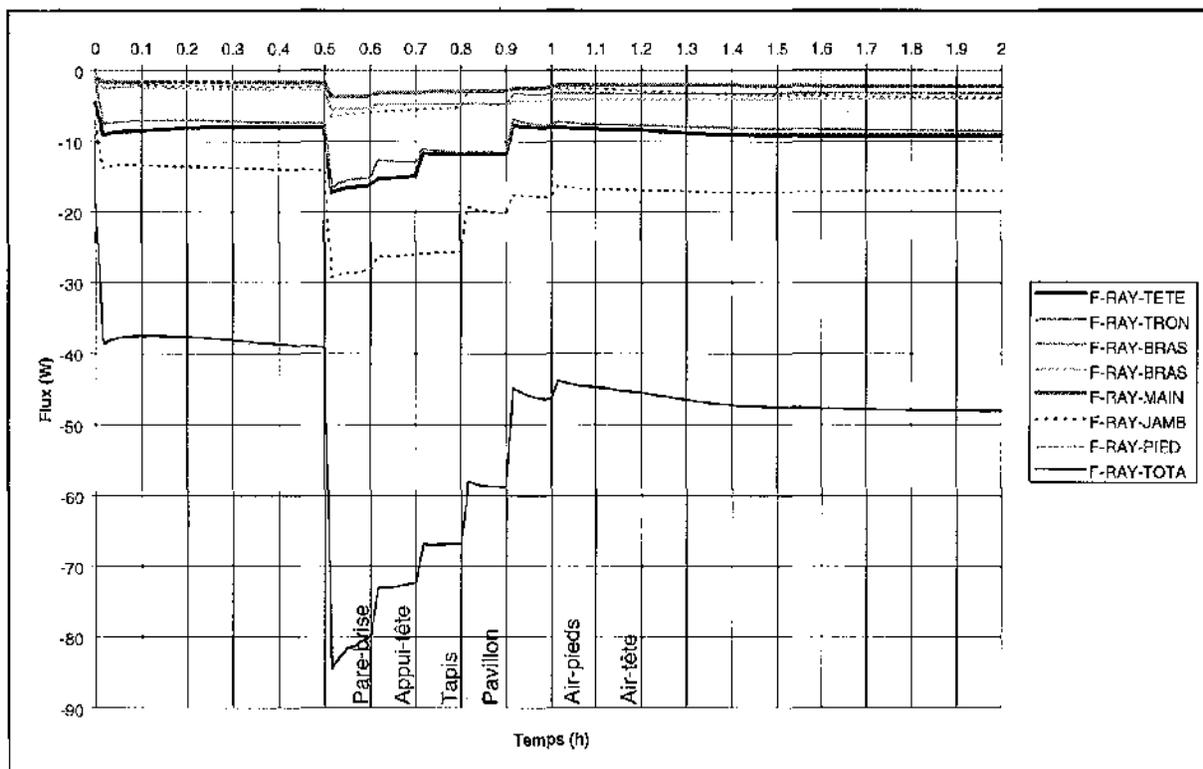


Figure 3.2-2 : Fonctionnement progressif des éléments chauffants
Evolution des flux rayonnés

Les flux échangés par rayonnement du conducteur sont présentés sur la Figure 3.2-2 et les températures des différentes parties du corps sur la Figure 3.2-3.

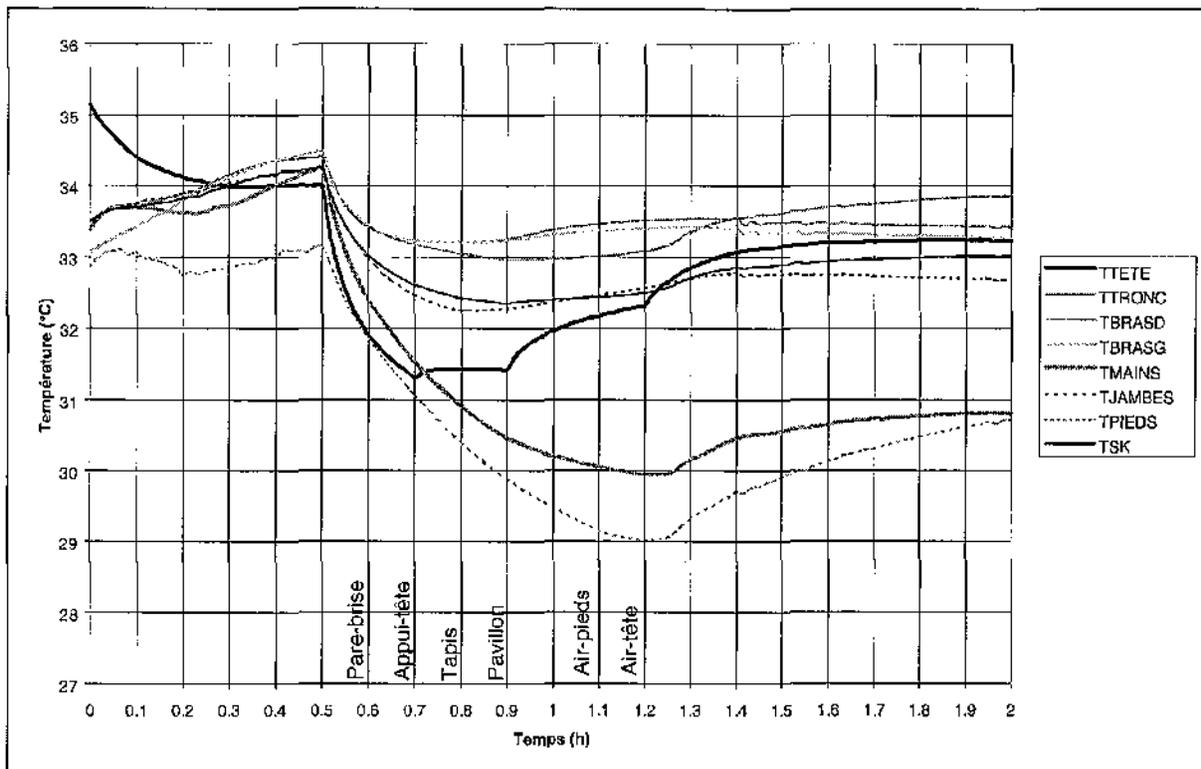


Figure 3.2-3 : Fonctionnement progressif des éléments chauffants
Evolution des températures de peau

On remarque surtout que la température de la tête est fortement influencée par l'appui-tête et par le pavillon chauffant. Alors que les autres températures de peau ne sont pas influencées instantanément, la tête réagit tout de suite aux variations des éléments chauffants proches d'elle. On voit bien les 2 points de changement de pente à la mise en marche de l'appui-tête (0.7 h) et du pavillon chauffant (0.9 h). On peut voir l'influence de la température d'air au niveau de la tête (qui est aussi la température de l'air inhalé). En effet, on observe une augmentation brutale de la température de peau quand la température de l'air passe de 10 à 20°C.

On remarque sur la Figure 3.2-4 que la sensation globale de confort du conducteur chute instantanément à l'entrée dans la voiture et qu'elle ne remonte que lorsque la température de l'air inhalé passe à 20°C (à 1.2 h). La sensation n'atteint le niveau quatre (confort froid) qu'avec une température d'air voisine de dix-sept degrés. Cette température d'air inhalé (proche de la tête) est donc très importante et il a été décidé d'installer un dispositif permettant d'emmener de l'air tiède (entre 17 et 20°C) au voisinage de la tête du conducteur.

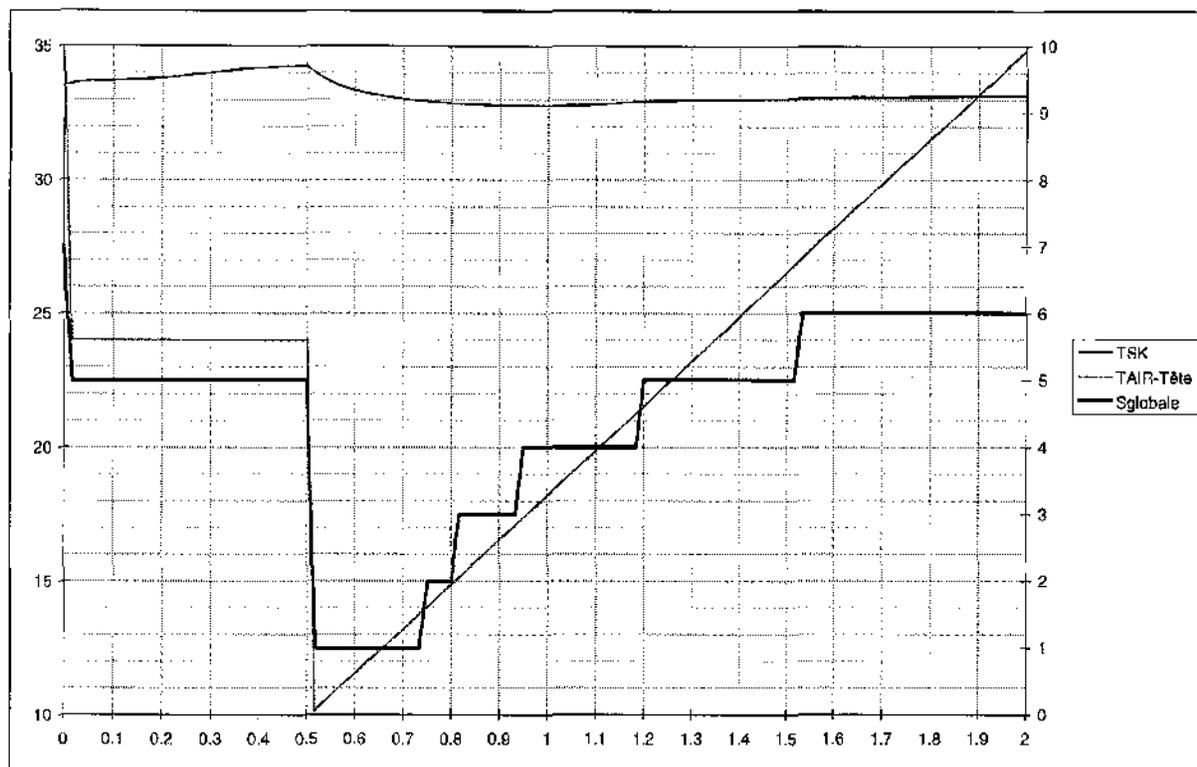


Figure 3.2-4 : Evolution de la sensation globale avec la température d'air proche de la tête

Remarque : On considère dans toutes les simulations que les surfaces chauffées passent instantanément de 10 à 40°C. Dans la réalité, il faut penser que ce n'est pas possible et il faudra prendre en compte le temps de montée en température des tissus chauffants. On a appliqué une température maximum de 40°C pour les surfaces chauffées alors que les tissus peuvent atteindre 45°.

Nous avons utilisé, pour toutes les simulations de prédiction, une émissivité de 0.4 pour les vitrages EKO. Cette valeur est en fait égale à 0.22. Les simulations ayant toutes été réalisées avant de recevoir les caractéristiques des vitrages EKO, nous avons utilisé la valeur donnée en réunion par PSA. Cela n'affecte en rien l'analyse des résultats des simulations (qui sont donc un peu pessimistes).

3.3. Validation des solutions

A partir des données expérimentales recueillies lors de la deuxième campagne d'essais (hiver 1998) nous avons simulé toutes les expériences pour valider le nouveau système de chauffage. Il apparaît que le nouveau système mis en place (panneaux chauffant, vitrages EKO, volant chauffant) permet au conducteur d'atteindre une sensation thermique dite de confort (note 5 à +/- 1) dans un temps relativement acceptable (Cf. Figure 3.3-2). Si l'on compare ces résultats avec les sensations recueillies par le LAA (Cf. Figure 3.3-1), on obtient une bonne corrélation entre la sensation thermique globale exprimée par le conducteur lors de l'essai et celle obtenue par simulation.

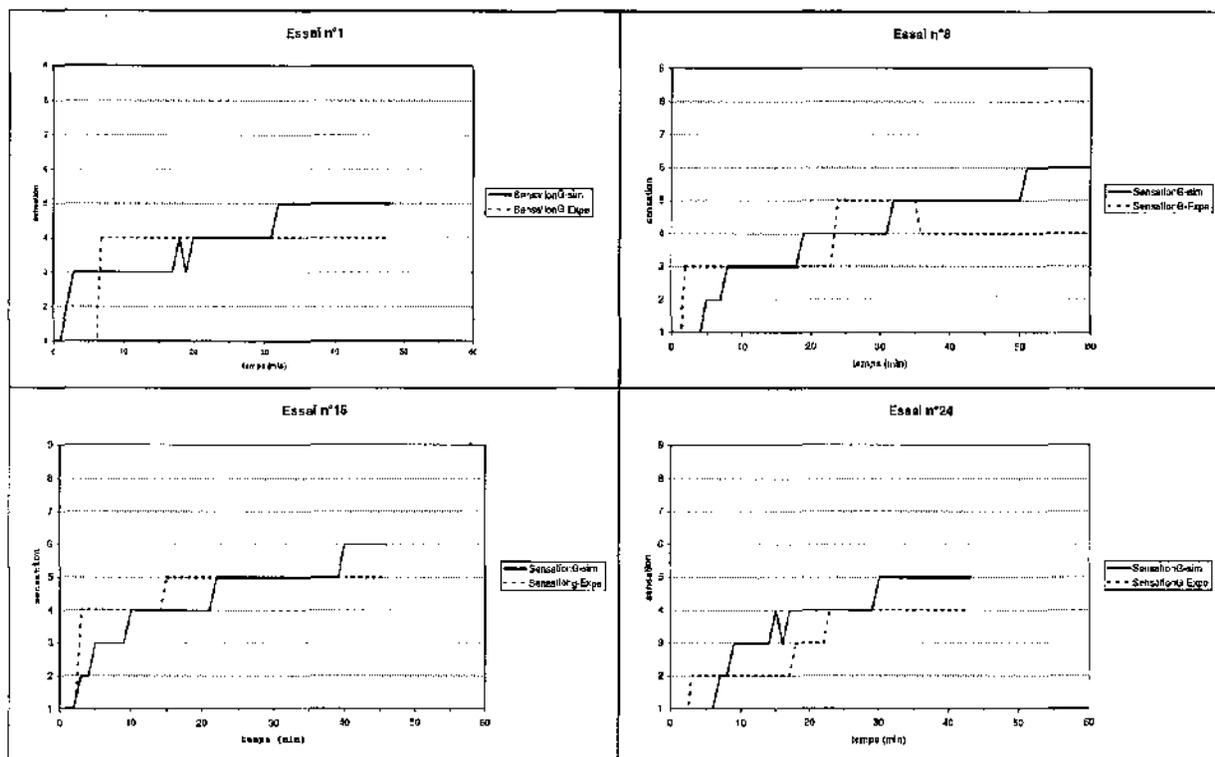


Figure 3.3-1 : Comparaison simulations/expériences (essais 1998)

Temps mis pour atteindre les sensations 4 et 5 (Essais 1998)

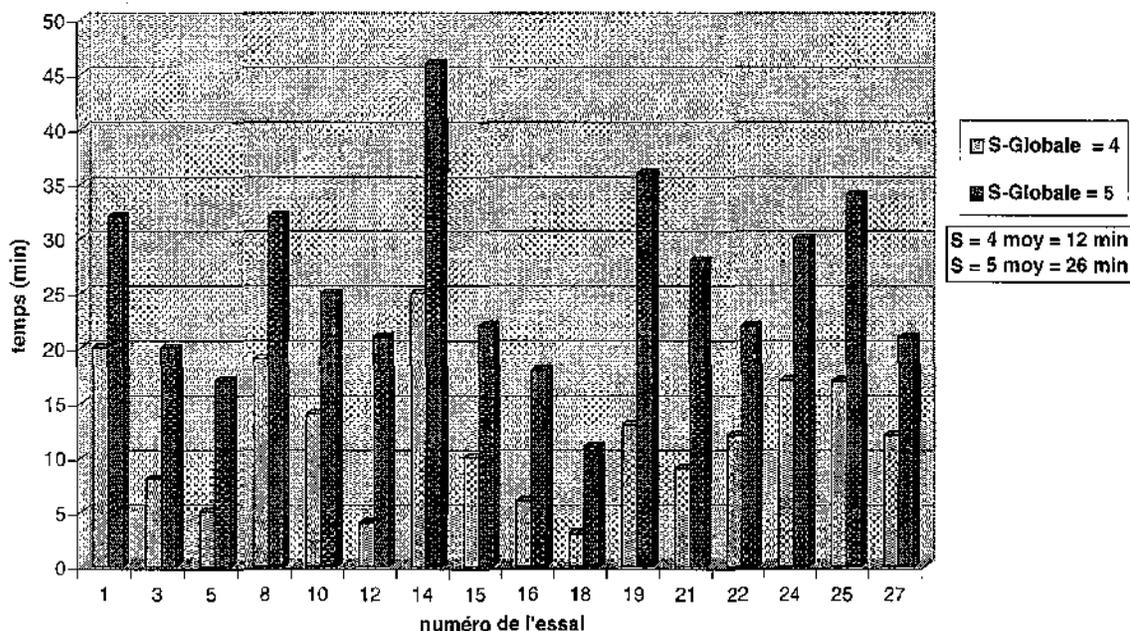


Figure 3.3-2 : Bilan des simulations (essais 1998)

Les simulations des essais avec préchauffage (Cf. 2.1) sont aussi en accord avec les réponses aux questionnaires du LAA et montrent l'intérêt de chauffer le véhicule avant l'entrée du conducteur. Les sensations thermiques exprimées par celui-ci et par MATHER oscillent entre les notes quatre et six, notes correspondant à une sensation thermique de confort acceptable.

CONCLUSIONS

L'étude a montré qu'une solution alternative au chauffage convectif peut être trouvée en équipant le véhicule électrique de panneaux chauffants. Le travail contractuel est terminé, car une solution technique est trouvée. Mais l'étude doit être poursuivie pour l'obtention d'un prototype complet :

- Il faut optimiser l'emplacement et la gestion de l'alimentation électrique des panneaux pour un meilleur confort et une plus grande économie.
- Il faut gérer le renouvellement d'air du véhicule afin de résoudre les problèmes de buée et améliorer la ventilation autour de la tête du conducteur.

Deux propositions en ce sens sont faites dans les annexes.

ANNEXES

Annexe A. Bibliographie

Publications :

[1] THELLIER F., CORDIER A., MONCHOUX F., SERIN G. - *Analyse des paramètres de confort thermique par modélisation d'un individu dans son habitat* . C.V.C. n° 1/2, pp.27-32, janv./Fev. 1989.

[2] MONCHOUX F., SERIN G., THELLIER F., CORDIER A. , GALEOU M. - *Des logiciels pour l'analyse et la gestion du confort thermique*. Revue Générale de Thermique, n°371, pp.616-620, nov. 1992.

Contrat : "MATHER : MANnequin THERmique dans un Véhicule Automobile" - PSA PEUGEOT CITROËN - VALÉO THERMIQUE HABITACLE - (Convention de recherche n°92.32.020)

[3] THELLIER F., ALTHABEGOITY F., CORDIER A., MONCHOUX F., G. SERIN - *Rapport Final I*, 150 p., Juin 1994. (*Conditions hiver*)

[4] THELLIER F., PINIEC S., CORDIER A., MONCHOUX F. - *Rapport Final II*, Janvier 1997. (*Conditions été*)

Annexe B. Suites possibles de l'étude

1. Calcul simplifié du rayonnement

Objet de la recherche :

Le calcul des flux échangés par rayonnement entre le conducteur et son habitacle est indispensable pour établir les bilans thermiques et en déduire la sensation. Ce calcul exige de connaître les températures et la géométrie de l'ensemble. La méthodologie actuelle (lourde !) consiste à s'appuyer sur le fichier DAO du véhicule et d'en extraire une représentation simplifiée de l'ensemble compatible avec le degré de connaissance que l'on a de la carte des températures. On en déduit tous les facteurs de forme du véhicule. Toute la procédure est à reprendre dès que l'on travaille sur un autre véhicule.

Proposition :

Faire une analyse des méthodes analytiques pour la détermination des facteurs de forme, utiliser les possibilités des fluxmètres et des radiothermomètres existants pour la construction d'une méthode d'évaluation rapide des flux échangés, basée sur la détermination des surfaces "actives".

Domaine d'application du modèle :

- Prévision du confort thermique dans un véhicule quelconque ;
- Aide à la conception et à l'utilisation d'un simulateur thermique.

2. Gestion automatisée des appareils de chauffage d'un véhicule électrique

Objet de la recherche :

Les véhicules électriques disposent de peu d'énergie utilisable pour le chauffage, il faut donc tout mettre en œuvre pour l'économiser. Les questionnaires du LAA ont montré que certains systèmes, comme le chauffage de l'appuie tête (très efficace par son action directe sur le cerveau) échappent au simple bon sens et ne sont pas mis en marche par le conducteur qui n'en comprend pas l'intérêt. Pour éviter des gaspillages d'énergie, il serait préférable de faire appel à une gestion automatisée du système de chauffage, avec possibilité pour le conducteur d'intervenir en cas de désaccord avec les décisions de l'automatisme, plutôt que de lui laisser le choix entier de cette gestion.

Proposition :

Les sources de chaleur (panneaux rayonnants, ventilation) doivent être gérés en tenant compte de leurs inerties respectives, de leur influence sur le confort global et local du conducteur et de leur consommation énergétique. Cette gestion pourrait être effectuée par un système informatique qui aurait pour missions :

- la saisie d'information venant de capteurs localisés dans l'habitacle,
- le calcul par le biais de MATHER ou de réseaux de neurones des sensations thermiques globale et locales
- le choix de la stratégie à tenir, compte tenu du précédent calcul, des emplacements des émetteurs de chaleur et de leurs inertie
- l'émission d'ordres en direction des émetteurs de chaleur.

Difficultés :

Les échanges par rayonnement infrarouge sont difficiles à estimer et à mesurer. Comme c'est le mode essentiel de chauffage envisageable dans un véhicule électrique, il y aura un gros travail à faire dans ce domaine (Cf. Proposition 1).

Ce mode de chauffage étant peu courant, il manquera des "règles d'usage", qu'il faudra établir ou découvrir.

En cas d'utilisation de réseaux de neurones, la base de données actuelle risque d'être insuffisante.

La mise au point de ce système de gestion peut être assez longue et nécessiter des expériences sur le véhicule.

3. Collaboration à l'étude d'un "simulateur thermique"

La notion de « Simulateur Thermique », apparue au cours des discussions de fin de contrat, paraît riche de possibilités dans l'étude de la thermique de l'habitacle et du confort dans les véhicules. La mise au point de ce simulateur fera probablement apparaître des problèmes de thermique susceptibles de relever de la compétence du LESETH et de l'intéresser en tant que laboratoire universitaire. Dans ce cas, le LESETH souhaiterait participer à l'élaboration de cet outil.

La forme de cette participation dépendra évidemment de la nature et de l'importance des études à mener.

4. Formation

Le LESETH possède une compétence en thermique générale et, plus particulièrement dans le domaine de la thermorégulation humaine (programme MATHER) et sa mise en œuvre dans TRNSYS. Le LESETH peut participer à des actions de formation auprès de personnels PSA qui seraient amenés à travailler dans ces domaines.

Ces formations peuvent être dispensées dans les locaux du LESETH ou dans ceux de PSA, suivant le cas.

Annexe C. Fichiers MATHER

Descriptif du fichier contenant les F_{ij} pour les simulations avec chauffage radiatif

Ces facteurs de vue sont utilisés pour les simulations avec Mather des essais de la 106 électrique.

Numéro de regroupement	Numéro dans Mather	Nom
1		Tête
2		Tronc
3		Bras gauche
4		Bras droit
5		Mains
6		Jambes
7		Pieds
8	1	Planche de bord
9	2	Plancher
10	3	Tablette
11	4	Pavillon
12	5	Montants
13	6	Siège conducteur
14	7	Vitres
15	8	Pare-brise
16	9	Appui-tête
17	10	Garnissage sous colonne de direction
18	11	Tapis
19	12	Siège passager
20	13	Portes
21	14	Pavillon chauffant
22	15	Volant

Facteur de vue (fichiers 106d1.txt et 106d2.txt)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	0.04993	0.004541	0.002813	0.001004	0.005826	0.000211	0.021734	0.004172	0.056161	0.142668	0.063793	0.037384	0.211461	0.04254	0.132867	0.004128	0.00005	0.018859	0.034372	0.16436	0.003902
2	0.017501	0.00181	0.120443	0.118644	0.004464	0.040561	0.000008	0.038916	0.008046	0.037858	0.043192	0.026216	0.102607	0.103309	0.072534	0.028209	0.01073	0	0.029459	0.115472	0.073569	0.013864
3	0.004076	0.308459	0.012631	0.005819	0.001823	0.045483	0.000331	0.013478	0.001548	0.023786	0.011346	0.020178	0.047762	0.132154	0.021132	0.000066	0.006447	0.000172	0.005602	0.311664	0.01949	0.009532
4	0.002525	0.303858	0.005819	0.017437	0.002121	0.043214	0.000435	0.034773	0.025808	0.065906	0.046781	0.016821	0.051306	0.08374	0.043891	0.000145	0.006567	0.000219	0.10595	0.064261	0.064502	0.008961
5	0.004056	0.051431	0.008202	0.009541	0.013275	0.064876	0.002249	0.078065	0.019839	0.003379	0.028882	0.043987	0.018035	0.202677	0.105587	0.000638	0.017991	0.002585	0.040321	0.159272	0.054368	0.070682
6	0.002091	0.041629	0.018182	0.017275	0.005765	0.001539	0.010462	0.055507	0.075594	0.006897	0.018394	0.014863	0.173288	0.051866	0.044274	0.000014	0.130893	0.088153	0.026707	0.150565	0.036363	0.028247
7	0.000342	0.000037	0.000599	0.000787	0.000904	0.047343	0.00761	0.022078	0.533025	0.000318	0.007129	0.001928	0.007552	0.012783	0.000131	0	0.077886	0.155156	0.004204	0.078429	0.012736	0.003786
8	0.003252	0.016613	0.002247	0.005796	0.002893	0.023145	0.002034	0.04648	0.088826	0.013978	0.034079	0.043002	0.023635	0.068633	0.369721	0.000851	0.008496	0.00491	0.09351	0.095817	0.044298	0.013269
9	0.000336	0.001858	0.00014	0.002328	0.000398	0.017055	0.026574	0.04806	0.426461	0.052898	0.009627	0.003849	0.078148	0.011841	0.012111	0.00004	0.009351	0.031697	0.111147	0.093838	0.016732	0.001367
10	0.00272	0.005231	0.001283	0.003556	0.000041	0.000931	0.00001	0.004524	0.031644	0.200372	0.169369	0.11887	0.004865	0.252588	0.008068	0.000189	0.000548	0.000044	0.008906	0.070735	0.031211	0.000295
11	0.022127	0.019112	0.00196	0.008082	0.001109	0.008382	0.000681	0.035322	0.018441	0.54238	0.03707	0.058722	0.010383	0.124521	0.018218	0.001498	0.002275	0.000939	0.043678	0.032354	0.00844	0.004048
12	0.00974	0.01142	0.003432	0.002861	0.001663	0.006324	0.000181	0.043879	0.007259	0.374747	0.05781	0.099027	0.006263	0.266638	0.03708	0.001013	0.000846	0.001086	0.021442	0.011576	0.026243	0.004096
13	0.008258	0.064665	0.011753	0.012625	0.000987	0.106671	0.001027	0.034892	0.213224	0.022188	0.014789	0.009062	0.01188	0.040184	0.026568	0.00111	0.022224	0.063278	0.047762	0.264468	0.026909	0.002781
14	0.017429	0.024293	0.012134	0.007689	0.004137	0.011911	0.000649	0.037916	0.012055	0.429873	0.066176	0.14394	0.014994	0.0527	0.045306	0.003863	0.002333	0.001547	0.048542	0.015217	0.042012	0.005841
15	0.007676	0.037341	0.004248	0.008823	0.004718	0.022263	0.000015	0.445851	0.026993	0.030059	0.021196	0.043822	0.021703	0.099187	0.005193	0.002634	0	0.002463	0.10265	0.074974	0.016743	0.018817
16	0.39083	0.296735	0.000216	0.000477	0.000465	0.000118	0	0.016719	0.00147	0.011491	0.028375	0.019521	0.014775	0.137879	0.042937	0	0.001637	0	0.010337	0.03099	0.063611	0.001597
17	0.00339	0.025136	0.005897	0.006007	0.003658	0.299502	0.039382	0.046622	0.094843	0.009284	0.012045	0.004548	0.082608	0.023242	0	0.000457	0	0.060799	0.039257	0.219857	0.00789	0.019555
18	0.000035	0	0.000135	0.000172	0.000451	0.1732	0.067366	0.023137	0.276043	0.00064	0.004269	0.005014	0.201971	0.013235	0.009623	0	0.052206	0	0.000987	0.149755	0.01023	0.003154
19	0.002705	0.012055	0.000895	0.016929	0.001432	0.010675	0.000371	0.089637	0.196918	0.026377	0.040395	0.020143	0.031014	0.084475	0.081597	0.000504	0.006858	0.000201	0.088226	0.217377	0.080715	0.003657
20	0.00376	0.036043	0.037985	0.007832	0.004315	0.045904	0.005284	0.070057	0.126805	0.15979	0.022823	0.008295	0.130985	0.020198	0.045458	0.001153	0.029294	0.023238	0.165803	0.007237	0.037557	0.007346
21	0.044266	0.056529	0.005848	0.019352	0.003626	0.027291	0.002113	0.079732	0.055661	0.173566	0.014656	0.046292	0.032809	0.137277	0.02499	0.005824	0.002588	0.003908	0.151556	0.092455	0.00367	0.011125
22	0.005627	0.057037	0.015313	0.014394	0.02524	0.113504	0.003362	0.127872	0.024354	0.008782	0.037636	0.038679	0.018156	0.102179	0.150369	0.000783	0.034342	0.006451	0.036766	0.009682	0.059562	0.02134

Programme MATHER (type71.for)

```

*****
C - L.E.S.E.T.H. - UNIVERSITE PAUL SABATIER - TOULOUSE - (05 61 55 68 29)
C Laboratoire Etudes des Systèmes et de l'Environnement Thermique de l'Homme
C-----
C          ++++++++
C          + MA.THER +
C          ++++++++
C
C modèle de MAnnequin THERmique humain dans une voiture
C
C*****
*
C
C Version - 0.0 - 09/1992 - vcrsion LESETH pour l'habitat
C   - 1.0 - 10/1992 - séparation des 2 bras
C   - 2.0 - 05/1993 - Dans la voiture, Siège et sensations
C   - 3.0 - 01/1994 - sensations avec (Tsk + Ta)/2
C   - 4.0 - 06/1994 - Unités S.I. - Version finale contrat I
C   - 5.0 - 09/1995 - cas hiver et été (cf. rapport II.3)
C   - 6.0 - 12/1996 - Version finale MATHER (cf. rapport final II)
C   - 7.0 - 02/1997 - Version finale MATHER TRNSYS 14.2 (32-bits)
C   - 7.1 - 03/1997 - Version TRNSYS 14.2 (32-bits) contrat III
C   - 7.2 - 06/1997 - Sorties supplémentaires
C   - 7.3 - 06/1997 - Modification de la température de l'air inhalé
C   - 7.4 - 02/1998 - Introduction de la conduction avec le volant
C   - 7.5 - 04/1998 - Lecture des paramètres modifiée
C   - 7.6 - 06/1998 - Modification de la température de l'air inhalé
C                       en externe
C   - 7.7 - 10/1998 - Lecture des paramètres modifiée (retour 7.2)
C                       et suppression du RETURN 1
C   - 8.0 - 10/1998 - Version final contrat III
C                       (correspondant à la version industrialisée PSA)
C
C----- Définition des cas -----
C   cas=1: Vêtements Epais Icl = 1,1 clo (PHASE I)
C   cas=2: Vêtements Légers Icl = 0,6 clo (PHASE II)
C
*****
C
C SUBROUTINE TYPE71(TIME,XIN,OUT,T,DTDT,PAR,INFO,ICNTRL,*)
C SAVE
C DOUBLE PRECISION XIN(50),OUT(100)
C DIMENSION PAR(10),INFO(15),STOK(100)
C COMMON /SIM/TIMEO,TFINAL,DELT
C INTEGER ISENS(8)
C
C fichier NOM = "tous les paramètres du modèle"

```

```

C
  CHARACTER*40 TEXT
C
C  Variables pour les 29 compartiments (* B -> donnees Basales)
C
  DIMENSION QB(29),Q(29),EB(29),E(29),BFB(29),BF(29),BC(29)
  DIMENSION TSET(29),TT(29),TC(29),TD(29),C(29)
  DIMENSION ERROR(29),WARM(29),COLD(29),F(29),HF(29)
C
C      Variables pour les 7 segments
C  1/Tete;2/Tronc;3/Bras-Droit;4/Bras-Gauche;5/Mains;6/Jambes;7/Pieds
C  4 couches par segment : Centre - Muscle - Graisse - Pcau -
C  le sang est le 29 eme compartiment
C
  DIMENSION VA(7),TA(7),PERSUR(7),PCONT(7),SF(7),SFE(7)
  DIMENSION HC(7),HC1(7),HC2(7),DRYSK(7),DRYCL(7),EVG(7),FCV(7)
  DIMENSION CONVMI(7),CONV(7),RAYCL(7),RAYSK(7)
C
  DIMENSION W(7),PSSK(7),PSK(7),EDIF(7),DRIP(7),REST(7)
  DIMENSION H2OMX(7),H2O(7),DH2O(7),SUD(7),PCL(7),EMAXSK(7)
  DIMENSION SKR(7),SKS(7),SKC(7),SKV(7),WORKI(7),CIILI(7)
C
  DIMENSION RCL(7),FCL(7),TCL(7),PMI(7),TMI(7),CV(7),CTR(7)
  DIMENSION FL(7),HFCL(7),DRYMI(7),CCL(7),RT1(7)
  DIMENSION RT2(7),RT3(7),RT4(7),RP1(7),RP2(7),RP3(7),RP4(7)
  DIMENSION CRI(8,11),TSS(8),SUR(8)
  DATA TK/273.15/
  INTEGER NOM,ONOFF
C
C ---- BONUS POUR SOLEIL -----
  DATA SUR/0.3,0.2,0.0,0.2,0.1,0.0,0.0,0.2/
C -----
C
C ***** ENTREE DES PARAMETRES *****
C
  ICAS=PAR(1) ! 1=Hiver ou 2=été
  NOM=PAR(2) ! Logical unit
  ONOFF=PAR(3) ! Conduction 1=Off 2=On
  EQUI=PAR(4) ! Temps de la mise en équilibre
  RC1=PAR(5) ! Résistance
  IF(INFO(7).GE.0) GO TO 100
  INFO(5)=0
  INFO(6)=93
  INFO(9)=1
  CALL TYPECK(1,INFO,39,5,0)
  DT=60.
C
C----- LECTURE DES CONSTANTES -----

```

C

```

      READ(NOM,2100)TEXT
      2100 FORMAT(A40)

```

C

```

      READ(NOM,*) (M,C(N),QB(N),EB(N),BFB(N),TC(N),TSET(N),N=1,29)
      READ(NOM,*) (PERSUR(I),HC1(I),HC2(I),SKR(I),SKS(I)
1      ,SKC(I),SKV(I),WORKI(I),CHILI(I),I=1,7)

```

```

      READ(NOM,*) CSWEA,SSWEA,PSWEA,XSWEA,CDILA,SDILA,PDILA,XDILA
      READ(NOM,*) CSTRI,SSTRI,PSTRI,XSTRI,CCHIL,SCHIL,PCHIL,XCHIL
      READ(NOM,*) QBT,CLW,CSK,ADU,BPH,BULL,EAUMAX,CLI,BQ,CB,XXL

```

C

```

      READ(NOM,2100)TEXT
      READ(NOM,*)(PCONT(I),RCL(I),FCL(I),CTR(I),CCL(I),CV(I),I=1,7)
      READ(NOM,*)((CRI(I,J),J=1,11),I=1,8)

```

C

```

      IF(PAR(1).LT.1.5) THEN
        WRITE (*,*)'Conducteur en',TEXT
      ELSE
        READ(NOM,2100)TEXT
        READ(NOM,*)(PCONT(I),RCL(I),FCL(I),CTR(I)
1      ,CCL(I),CV(I),I=1,7)
        READ(NOM,*)((CRI(I,J),J=1,11),I=1,8)
      ENDIF
      REWIND(NOM)

```

C

```

C----- CONDITIONS INITIALES -----

```

C

```

      DO 15 N=1,29
        F(N)=0.0
        TSET(N)=TSET(N)+TK
        TT(N)=TSET(N)
15  CONTINUE
      RSWEA=0.0
      QEVAG =0.0
      QDRIP =0.0
      QSUD  =0.0
      QHFLO =0.0
      DO 25 I=1,7
        SF(I)=ADU*PERSUR(I)
        SFE(I)=SF(I)*(1-PCONT(I))
        H2O(I)=0.0
        W(I)=0.0
        H2OMX(I)=EAUMAX*PERSUR(I)
        FL(I)=0.0
        FCV(I)=0.0

```

C

```

          CONV(I)=0.0
          CONVMI(I)=0.0
C
  25 CONTINUE
      TD(29)=0.0
      E(29) =0.0
      Q(29) =QB(29)
      BF(29)=BFB(29)
      BC(29)=0.0
  100 CONTINUE

C
C ***** DEBUT DES CALCULS A CHAQUE PAS DE TEMPS TRN6 *****
C
      ACT=XIN(1)*58.0*ADU
      WORK= ACT-QBT
      IF(WORK.LE.0.0) WORK=0.0
C
      HUMR=XIN(2)
      IF(HUMR.LE.5) HUMR=5
      TVOIT=XIN(3)+TK
      PAIR=PSAT(TVOIT)*HUMR/100
C
      RSOLT = 0.0
      DO 110 I=1,7
          TA(I)=XIN(I+3)+TK
          VA(I)=XIN(I+10)
          RSOLT=RSOLT+XIN(I+31)
          RAYCL(I)=(1-CTR(I))*(-XIN(I+17)-XIN(I+31))
          RAYSK(I)=CTR(I)*(-XIN(I+24)-XIN(I+31))
          IF (ONOFF.EQ.2) THEN
              IF(EQUI-TIME.LE.0) RAYSK(5)=RAYSK(5)/ONOFF
          ENDIF
C
C
      HC(I)=HC1(I)+HC2(I)*(VA(I)**2)
      HC(I)=HC(I)**(1./3)
  110 CONTINUE
      TEXP=32.5+0.066*(TA(I)-TK)+1.99E-4*PAIR+TK
      RESPS=0.0014*ACT*(TEXP-TA(I))
      RESPL=1.75E-5*ACT*(PSAT(TEXP)-PAIR)
C ----- calculs preliminaires pour les vêtements -----
      DO 120 I=1,7
          RT4(I)=1.0/(HC(I)*FCL(I)*SFE(I))
          RP4(I)=RT4(I)/CLW
C
      IF(RCL(I).LT.1.E-4) GOTO 117
          RT1(I)=RCL(I)/(2*SFE(I))
          RT2(I)=RT1(I)

```

```

      RT3(I)=1.0/(CV(I)*VA(I)*SFE(I))
C
      RP1(I)=RT1(I)/(CLI*CLW)
      RP2(I)=RP1(I)
      RP3(I)=0.220*RT3(I)
117  CONTINUE
C
      PSSK(I)=PSAT(TT(4*I))
      PSK(I)=(W(I)+0.06*(1.-W(I)))*PSSK(I)+(1-W(I))*0.94*PAIR
      IF(PSK(I).GT.PSSK(I)) PSK(I)=PSSK(I)
C
      IF (INFO(7).GE.0) GOTO 115  !**** Initialisation premier pas de temps
      IF (RCL(I).EQ.0.0)THEN  !----- Segment nu -----
        TMI(I)=TT(4*I)
        TCL(I)=TT(4*I)
        PMI(I)=PSK(I)
        PCL(I)=PSK(I)
        FCV(I)=0.0
      ELSE  !----- Segment vetu -----
        DENO=1./RT1(I) + 1./RT3(I) + 1./(RT2(I) +RT4(I))
        TMI(I)=(TT(4*I)/RT1(I) + TA(I)/RT3(I)
1      +(TA(I)-RT4(I)*RAYCL(I))/(RT2(I)+RT4(I))/DENO
        TCL(I)=TMI(I)/RT2(I) + TA(I)/RT4(I) - RAYCL(I)
        TCL(I)=TCL(I) / (1./RT2(I)+1./RT4(I))
C
        DENO=1./RP1(I) + 1./(RP3(I)*TMI(I)
1      + 1./(RP2(I)+RP4(I))
        PMI(I)=(PSK(I)/RP1(I) + PAIR/(RP3(I)*TMI(I)
1      +PAIR/(RP2(I)+RP4(I)))/DENO
        PCL(I)=PMI(I)/RP2(I)+PAIR/RP4(I)
        PCL(I)= PCL(I)/(1./RP2(I)+1./RP4(I))
        FCV(I)=0.0
      ENDIF
115  CONTINUE
120  CONTINUE
C
C----- initialisation des variables
C
      STIME=0.0
      QTM =0.0
      HFM =0.0
      CONVM=0.0
      RAYM =0.0
      EVAPM=0.0
      EVAGM=0.0
      SUDM =0.0
      DRIPM=0.0
C
C---- Stockage des valeurs d'un pas de temps a l'autre

```

C

```
IF(INFO(7).LE.0) THEN
  STOK(1)=RSWEA
  STOK(2)=QEVAG
  STOK(3)=QDRIP
  STOK(4)=QSUD
  STOK(5)=QHFL.O
  DO 150 I=1,7
    STOK(5+I)=H2O(I)
    STOK(12+I)=W(I)
150  CONTINUE
  DO 155 N=1,29
    STOK(19+N)=TT(N)
    STOK(48+N)=F(N)
155  CONTINUE
  IOCIL3=1
  IOCIL2=1
  IOCIL1=1
  IGAM=1
  IBLOQ=0
ELSE
  RSWEA=STOK(1)
  QEVAG=STOK(2)
  QDRIP=STOK(3)
  QSUD=STOK(4)
  QHFLO=STOK(5)
  DO 160 I=1,7
    H2O(I)=STOK(5+I)
    W(I)=STOK(12+I)
160  CONTINUE
  DO 165 N=1,29
    TT(N)=STOK(19+N)
    F(N)=STOK(48+N)
165  CONTINUE
  IF(IBLOQ.EQ.0) THEN
    IOCIL3=IOCIL2
    IOCIL2=IOCIL1
    IOCIL1=IGAM
    I32=IOCIL3/IOCIL2
    I21=IOCIL2/IOCIL1
    I31=IOCIL3/IOCIL1
    IF(I32.LT.0.AND.I21.LT.0.AND.I31.GT.0) IBLOQ=1
  ENDIF
ENDIF
C
C***** DEBUT DU CALCUL PAR PAS DE TEMPS INTERNE *****
C
300 CONTINUE
C
```

C----- Calcul des coefficients de regulation -----

C

```

DO 305 N=1,29
  ERROR(N)=TT(N)-TSET(N)
  IF(ERROR(N).LT.0.0) THEN
    WARM(N)=0.0
    COLD(N)=-ERROR(N)
  ELSE
    WARM(N)=ERROR(N)
    COLD(N)=0.0
  ENDIF
305 CONTINUE
  WARMSK=0.0
  COLDSK=0.0
  DO 310 I=1,7
    WARMSK=WARMSK+WARM(4*I)*SKR(I)
    COLDSK=COLDSK+COLD(4*I)*SKR(I)
310 CONTINUE
  ER1=WARM(1)-COLD(1)
  ERSK=WARMSK-COLDSK
  ERP=WARM(1)*WARMSK-COLD(1)*COLDSK

```

C

```

SWEA=CSWEA*ER1+SSWEA*ERSK+PSWEA*ERP
  SWEA=SWEA-(XSWEA/100.0)
  IF(SWEA.LT.0.0) SWEA=0.0
  IF(SWEA.GT.XSWEA) SWEA=XSWEA
DILA=CDILA*ER1+SDILA*ERSK+PDILA*ERP
  DILA=DILA-(XDILA/100.0)
  IF(DILA.LT.0.0) DILA=0.0
  IF(DILA.GT.XDILA) DILA=XDILA
STRI=-CSTRI*ER1-SSTRI*ERSK-PSTRI*ERP
  STRI=STRI-(XSTRI/100.0)
  IF(STRI.LT.0.0) STRI=0.0
  IF(STRI.GT.XSTRI) STRI=XSTRI
CHIL=-CCHIL*ER1-SCHIL*ERSK-PCHIL*ERP
  CHIL=CHIL-(XCHIL/100.0)
  IF(CHIL.LT.0.0) CHIL=0.0
  IF(CHIL.GT.XCHIL) CHIL=XCHIL

```

C

C----- calcul du bloquage -----

C

```

IF(IBLOQ.EQ.0) THEN
  IF(SWEA.GT.0.0) IGAM=1
  IF(CHIL.GT.0.0) IGAM=-1
ENDIF
IF(IGAM.GT.0) THEN
  SWEA=SWEA
  CHIL=0.0
ELSE

```

```

      SWEA=0.0
      CHIL=CHIL
    ENDIF
  C
  C ----- Calcul des flux pour chaque couche -----
  C
      XL=1.0+SWEA/XXL
      DO 400 I=1,7
        K=4*I-3
  C - centre
        Q(K)=QB(K)*XL
        BF(K)=BFB(K)
        E(K)=EB(K)
  C - muscle
        Q(K+1)=QB(K+1)*XL+WORKI(I)*WORK+CHILI(I)*CHIL
        BF(K+1)=BFB(K+1)+(Q(K+1)-QB(K+1))*BQ
        E(K+1)=0.0
  C - graisse
        Q(K+2)=QB(K+2)*XL
        BF(K+2)=BFB(K+2)
        E(K+2)=0.0
  C - peau
        Q(K+3)=QB(K+3)*XL
        BF(K+3)=((BFB(K+3)+SKV(I)*DILA)/(1.0+SKC(I)*STRI))
        BF(K+3)=BF(K+3)*(2.0**(ERROR(K+3)/10.0))
  C
      IF(RCL(I).EQ.0) THEN          !----- segment nu
        EMAXSK(I)=(PSSK(I)-PAIR)/RP4(I)
        DRYSK(I)=(TT(4*I)-TA(I))/RT4(I) + RAYSK(I)
      ELSE                          !----- segment vetu
        EMAXSK(I)=(PSSK(I)-PMI(I))/RP1(I)
        DRYSK(I)=(TT(4*I)-TMI(I))/RT1(I) + RAYSK(I)
        DRYMI(I)=(TMI(I)-TCL(I))/RT2(I)
        DRYCL(I)=(TCL(I)-TA(I))/RT4(I)+RAYCL(I)
      ENDIF
  C
      EDIF(I)=0.06*(1.0-W(I))*EMAXSK(I)
      IF(EDIF(I).GT.EB(K+3)) EDIF(I)=EB(K+3)
      E(K+3)=W(I)*EMAXSK(I)+EDIF(I)
  C
  400 CONTINUE
  C
      E(1)=RESPL*0.13
      E(5)=RESPL*0.87
      BC(29)=0.0
      DO 405 N=1,28
        BC(N)=BF(N)*CB*(1.0-BPH)*(TT(N)-TT(29))
        TD(N)=TC(N)*(TT(N)-TT(N+1))
        BC(29)=BC(29)+BC(N)

```

```

405 CONTINUE
C
C ----- Bilan thermique de chaque couche -----
C
C *** Flux conductif supplémentaire ***
C *** ONOFF=1 Sans flux conductif ***
C *** ONOFF=2 Avec flux conductif ***

C
C TV=XIN(39)+TK
C
C IF (ONOFF.EQ.2) THEN
C   IF (EQUI-TIME.LE.0) FCV(5)=RCL*(TV-TT(20))
C   ENDIF
C
C
C DO 410 I=1,7
C   K=4*I-3
C   HF(K) =Q(K) -BC(K) -TD(K)-E(K)
C   HF(K+1)=Q(K+1)-BC(K+1)+TD(K) -TD(K+1)
C   HF(K+2)=Q(K+2)-BC(K+2)+TD(K+1)-TD(K+2)
C   HF(K+3)=Q(K+3)-BC(K+3)+TD(K+2)-DRYSK(I)-E(K+3)+FCV(I)
C
C   HFCL(I)=0.0
C   IF(RCL(I).GT.0.0) HFCL(I)=DRYMI(I)-DRYCL(I)
410 CONTINUE
C   HF(1)=HF(1)-RESPS*0.13
C   HF(5)=HF(5)-RESPS*0.87
C   HF(29)=BC(29)
C
C ----- DETERMINATION DU PAS DE TEMPS OPTIMUM -----
C
C DT=60.0
499 CONTINUE
C DO 500 N=1,29
C   F(N)=HF(N)/C(N)
C   U=ABS(F(N))
C   IF(U*DT.LE.0.1) GO TO 500
C   IF(DT.LE.7.5) GO TO 500
C   DT=DT/2.0
C   GO TO 499
500 CONTINUE
501 CONTINUE
C DO 505 I=1,7
C   IF (RCL(I).EQ. 0.0) GOTO 502
C   FL(I)=HFCL(I)/CCL(I)
C   U=ABS(FL(I))
C   IF(U*DT.LE.0.1) GO TO 505

```

```

      IF(DT.LE.7.5) GO TO 505
      DT=DT/2.0
      GO TO 501
502  CONTINUE
505  CONTINUE
      IF((STIME+DT/3600.0).GE.DELT) DT=(DEL T-STIME)*3600.0
C
C -----  CALCUL DE LA SUDATION ET DE L'EVAPORATION  -----
C
      EVAPT=0.0
      EVAGT=0.0
      SUDT =0.0
      DRIPT=0.0
      WTOT =0.0
C
      RSWEA=SWEA+(RSWEA-SWEA)*EXP(-DT/180.0)
      IF(RSWEA.LE.1E-4) RSWEA=0.0
      DO 550 I=1,7
          SUD(I)=EDIF(I)+SKS(I)*RSWEA*(2.0**((ERROR(4*I)/BULL))
          SUD(I)=SUD(I)/QL(TT(4*I))
          EVG(I)=E(4*I)/QL(TT(4*I))
          IF (W(I).LT.0.5) THEN
              DRIP(I)=0.0
          ELSE
              REST(I)=1-(0.5*W(I)*W(I))
              IF(REST(I).GT.1.0) REST(I)=1.0
              IF(REST(I).LT.0.0) REST(I)=0.0
              DRIP(I)=SUD(I)*(1.0-REST(I))
          ENDIF
          DH2O(I)=(SUD(I)-EVG(I)-DRIP(I))*DT
          H2O(I)=H2O(I)+DH2O(I)
          IF(H2O(I).LT.0.0) H2O(I)=0.0
          IF(H2O(I).GT.H2OMX(I)) THEN
              DRIP(I)=DRIP(I)+(H2O(I)-H2OMX(I))/DT
              H2O(I)=H2OMX(I)
          ENDIF
          W(I)=SQRT(H2O(I)/H2OMX(I))
C
      EVAPT=EVAPT+E(4*I)
      EVAGT=EVAGT+EVG(I)
      SUDT=SUDT+SUD(I)
      DRIPT=DRIPT+DRIP(I)
      WTOT=WTOT+W(I)*PERSUR(I)
550  CONTINUE
C
C ----  Nouvelles Temperatures, Valeurs Globales et Moyennes  ----
C
      QT=0.0
      HFT=0.0

```

```

CONVT=0.0
RAYT=0.0
DO 600 N=1,29
  TT(N)=TT(N)+F(N)*DT
  QT=QT+Q(N)
  HFT=HFT+HIF(N)
600 CONTINUE
C
DO 605 I=1,7
IF (RCL(I).EQ.0.0)THEN      ! - - - - Segment nu
  TCL(I)=TT(4*I)
  TMI(I)=TT(4*I)
  PCL(I)=PSK(I)
  PMI(I)=PSK(I)
C
  CONVMI(I)=0.0
  CONV(I)=(TT(4*I)-TA(I))/RT4(I)
  IF (ONOFF.EQ.2) THEN
  IF(EQUI-TIME.LE.0) CONV(5)=CONV(5)/ONOFF
  ENDIF
  CONVT=CONVT+CONV(I)
C
  RAYT=RAYT+RAYSK(I)
ELSE      ! - - - - Segment vetu
  TCL(I)=TCL(I)+FL(I)*DT
  TMI(I)=TT(4*I)/RT1(I)+TCL(I)/RT2(I) + TA(I)/RT3(I)
  TMI(I)=TMI(I)/(1/RT1(I)+1/RT2(I)+1/RT3(I))
C
  PMI(I)=PSK(I)/RP1(I) + PAIR/(RP3(I)*TMI(I))
1    + PAIR/(RP2(I)+RP4(I))
  RA=RP2(I)*(1+RP1(I)/RP4(I))
  PMI(I)=PMI(I)/(1./RP1(I) + 1./RP2(I)
1    +1./((RP3(I)*TMI(I))-1.0/ RA))
  PCL(I)=PMI(I)/RP2(I) + PAIR/RP4(I)
  PCL(I)=PCL(I)/(1./RP2(I)+1./RP4(I))
C
  CONVMI(I)=(TMI(I)-TA(I))/RT3(I)
  CONV(I)=(TCL(I)-TA(I))/RT4(I)
  CONV1=CONVT+CONVMI(I)+CONV(I)
C
  RAYT=RAYT+RAYCL(I)+RAYSK(I)
ENDIF
605 CONTINUE
C
QTM=QTM+QT*DT
HFM=HFM+HFT*DT
CONVM=CONVM+CONVT*DT
RAYM =RAYM+RAYT*DT

```

```

EVAPM=EVAPM+EVAPT*DT
EVAGM=EVAGM+EVAGT*DT
SUDM =SUDM+SUDT*DT
DRIPM=DRIPM+DRIPT*DT
QEVAG=QEVAG+EVAGT*DT
QSUD =QSUD+SUDT*DT
QDRIP=QDRIP+DRIPT*DT
C
  STIME=STIME+DT/3600
  IF(STIME.LT.DELT) GO TO 300
C
C ***** FIN DE LA BOUCLE INTERNE *****
C
C ----- PREPARATION DES SORTIES -----
C
  TSK =0.0
  TCLO=0.0
  DO 805 I=1,7
    TSK=TSK+(TT(4*I)*C(4*I))/CSK
    TCLO=TCLO+TCL(I)*SF(I)/ADU
805 CONTINUE
  DELTS=DELTA*3600
  QTM=QTM/DELTS
  HFM=HFM/DELTS
  CONVM=CONVM/DELTS
  RAYM=RAYM/DELTS
  EVAPM=EVAPM/DELTS
  EVAGM=EVAGM/DELTS
  SUDM=SUDM/DELTS
  DRIPM=DRIPM/DELTS

C
C ***** SENSATIONS THERMIQUES *****
C Attention pour la sensation la global est en dernier
C Ste - Str - TbrD - SbrG - Sma - Sja - Spi - Sglo
C -----
C
C
  DO 850 I=1,7
    TSS(I)=(TT(4*I)+TA(1))/2-TK
    ISENS(I)=1
850 CONTINUE
  TSS(8)=(TSK+TA(1))/2-TK
  ISENS(8)=1
C
  DO 860 I=1,8
  DO 870 KC=3,11
  IF(TSS(I).LT.CRI(I,KC)) GOTO 880
  IF(TSS(I).GE.CRI(I,11)) THEN

```

```

      ISENS(I)=9
      GO TO 890
    ENDIF
870   CONTINUE

880   continue
      SENS=KC-2+((TSS(I)-CRI(L,(KC-1)))/
1     (CRI(L,KC)-CRI(L,(KC-1))))+0.5
      ISENS(I)=SENS
890   CONTINUE
      IF(ISENS(I).LE.1)ISENS(I)=1
      IF(ISENS(I).GE.9)ISENS(I)=9
860   CONTINUE

C
C----- BONUS POUR SOLEIL ----
C
      IF(ICAS.LT.2) GO TO 1113
      DO 1112 IK=1,8
        ISENS(IK)=ISENS(IK)+0.75*((10-ISENS(IK))*ABS(RSOLT)*SUR(IK)/25)
        IF(ISENS(IK).GE.9)ISENS(IK)=9
1112  CONTINUE
1113  CONTINUE
1114  CONTINUE
C-----
C
C***** OUTPUTS *****
C
      OUT(1)=TSK-TK
      OUT(2)=TCLO-TK
      OUT(3)=WTOT
      OUT(4)=ISENS(8)
      DO 950 I=1,7
        OUT(4+I)=TT(4*I)-TK
        OUT(11+I)=TCL(I)-TK
        OUT(18+I)=W(I)
        OUT(25+I)=ISENS(I)
950   CONTINUE
      OUT(33)=QTM
      OUT(34)=HFM
      OUT(35)=-CONVM
      OUT(36)=-RAYM-RSOLT
      OUT(37)=-CONVM+OUT(36)
      OUT(38)=-EVAPM
      OUT(39)=EVAGM
      OUT(40)=QEVAG
      OUT(41)=SUDM
      OUT(42)=QSUD

```

```

OUT(43)=DRIPM
OUT(44)=QDRIP
OUT(45)=TT(1)-TK
OUT(46)=TT(5)-TK
OUT(47)=- (RESPS+RESPL)
OUT(48)=(RESPL/QL(TEXP))
OUT(49)=RSOLT
C
  OUT(50)=DILA
  OUT(51)=STRI
C
  DO 960 I=1,7
    OUT(51+I)=- (CONVMI(I)+CONV(I))
    OUT(58+I)=- (RAYSK(I)+RAYCL(I))
    OUT(66)=TT(19)-TK
C
C   *** Sorties supplémentaires ***
C
  OUT(67)=PAR(3) !OnOff
  OUT(68)=FCV(5) !Flux conductif sur les mains
  OUT(69)=PAR(4) !EQUI
C
  960 CONTINUE
C
  RETURN 1
  END
C
C *****
C REAL FUNCTION QL(TL)-----
C----- Chaleur latente de vaporisation (QL - J/kg ; TL - Kelvin)
C
  QL= (597.5-0.59*(TL-273.15))*4180.0
  RETURN
  END
C
C *****
C REAL FUNCTION PSAT(TP)
C----- Pression de vapeur saturante (Psat - Pa ; TP - Kelvin)
C
  TPC=TP-273.15
  IF(TPC.LE.0.0) PSAT=0.0
  PSAT=0.0605*(((TPC+7.06)*TPC+908.88)*TPC+9567.0)
  RETURN

  END

```

LES VARIABLES DE MATHER version 8.0

Nomenclature :

K Constantes **P** Paramètres **I** Inputs, Entrées **V** Variables **T6** Variables spécifiques à TRNSYS

fichier : donnée lue dans le fichier de paramètres physiologiques (Parmat.txt) **calcul** : donnée calculée

§§ Valeur instantanée de la variable §§T Valeur totale pour tout le corps $§§T = \sum §§(i)$

§§M Valeur moyenne sur le pas de temps TRNSYS $§§M = S \text{ §§T} \cdot Dt / S Dt$ avec $S Dt = \text{Delt}$ (pas de temps TRNSYS)

§§I Valeur locale pour un segment §§SK Valeur locale pour la peau (SK → skin)

Q§§ Quantité cumulée depuis le début de la simulation $Q§§ = S \text{ §§T} \cdot Dt$

§§E Valeur en conditions d'Été (vêtements fins) §§H Valeur en conditions d'Hiver (vêtements épais)

2 fonctions **PSAT(T)** : Pression de vapeur saturante à température T et **QL(T)** : Chaleur latente de vaporisation à température T

Pour le système de thermorégulation :

STRI : vasoconstriction, DILA : vasodilatation, CHIL : frisson, SWEA : sudation

S§§ : coefficient de contrôle cutané, C§§ : coefficient de contrôle central

P§§ : coeff. produit central & cutané, X§§ : valeur maximale ($0 \leq §§ \leq X§§$)

Noms	Dim	Désignation	Unité	Valeur	Var
ACT	1	Métabolisme total (M_{tot}) (ACT est entré en Met) ACT = XIN(1)*58.0*ADU	W	-	I
ADU	1	Surface de peau (aire de Dubois A_{DU})	M ²	1,8877	K
BC	29	Echange de chaleur par convection sanguine (<i>Blood Convection</i>) $BC(N) = BF(N) \cdot CB(TT(N) - TT(29)) \cdot (1 - BPH)$	W	-	V
BF	29	Débit sanguin (BF : <i>Blood Flow</i>)	l/s	fichier	V
BFB	29	Débit sanguin Basal (BFB : <i>Blood Flow Basal</i>)			K
BPH	1	Coefficient de préchauffage du sang (<i>Blood PreHeating</i>)	-	0,3	K
BQ	1	Augmentation du débit sanguin en fonction de l'activité	l/s W	$2,39 \cdot 10^{-4}$	K
BULL	1	Coefficient de Bullard	°C ⁻¹	10	K
C	29	Capacité thermique de chaque compartiment	J/°C	fichier	K
CB	1	Capacité thermique du sang	J/°C.kg	3800	K

Noms	Dim	Désignation	Unité	Valeur	Var
CCHIL	1	Coefficient de contrôle des frissons (central)	W/°C	210	K
CCL	7	Capacité thermique des vêtements	J/°C	fichier	K
CCLÉ & H	7	Capacité thermique des vêtements en conditions Eté et Hiver	J/°C	fichier	K
CDILA	1	Coefficient de contrôle de vasODILATION (central)	l/s°C	0,042	K
CHIL	1	Signal de commande des frissons (central) $CHIL = -CCHIL * ER1 - SCHIL * ERSK - PCHIL * ERP$ $0 \leq CHIL \leq XCHIL$	W		V
CHILI	7	Coefficient de répartition des frissons $\sum CHILI(i) = 1$	-	fichier	K
CLI	1	Coefficient de perméabilité des vêtements (I_L indice de lotens)	-		K
CLW	1	Coefficient de Lewis (I_w)	°C/Pa	0.0016	K
COLD	29	Signal de froid de chaque compartiment	°C	≥ 0	V
COLDSK	1	Signal de froid de la peau si $ERROR(N) < 0$ $COLD(N) = -ERROR(N)$ $COLDSK = \sum COLD(i) * SKR(i)$			
CONVCL	7	Echange CONVectif à la surface des habits	W		V
CONVSK	7	" " " " " de la peau	"		"
CONVM,T	1	" " " " " Moyen & Total	"		"
CRI	8,11	Critère de sélection des sensations	-	fichier	K
CRIE & H	8,11	Critère de sélection des sensations en conditions Eté et Hiver		fichier	K
CSK	1	Capacité thermique totale de la peau	J/°C	14153	K
CSTRI	1	Coefficient de contrôle de vasoCONSTRICTION (central)	l/s°C	300	K
CSWEA	1	Coefficient de contrôle de la sudation (central)	W°C	420	K
CTR	7	Coefficient de transparence au rayonnement des vêtements	-	fichier	K
CTRE & H	7	Coefficient de transparence au rayonnement des vêtements en conditions Eté et Hiver	-	fichier	K
CV	7	Coefficient, caractérisant la porosité des vêtements	J/m²°C	fichier	K
CVE & H	7	Coefficient, caractérisant la porosité des vêtements en conditions Eté et Hiver	J/m²°C	fichier	K
DELT	1	Pas de temps de TRNSYS	h		T7
DH2O	7	Variation de masse d'eau sur la peau (Δm_{h2O}) $DH2O(I) = (SUD(I) - EVG(4*I) - DRIP(I)) * DT$	kg/s		V
DILA	1	Signal de commande de vasoDILATation $DILA = CDILA * ER1 + SDILA * ERSK + PDILA * ERP$ $0 \leq DILA \leq XDILA$	l/s		V

Noms	Dim	Désignation	Unité	Valeur	Var
DRIP	7	Quantité d'eau qui ruisselle (<i>DRIPping</i>)			
DRIPM & T	1	" " " Moyenne & Totale			
DRYCL	7	Echange de chaleur sensible au niveau des vêtements			
DRYMI	"	" " " " sous vestimentaire			
DRYSK	"	" " " " au niveau de la peau			
DT	1	Pas de temps interne du modèle			
DTDT	1	D'T/Dt			
E	29	Perte de chaleur par Evaporation			
EB	"	" " " " " Basale			
EAUMAX	1	Masse d'eau maximale sur la peau			
EDIF	7	Perte de chaleur par Evaporation diffuse			
EMAXSK	7	Perte de chaleur par Evaporation maximale			
EQUI	1	Temps de la mise en équilibre			
ER1	1	Coefficient de commande central			
ERP	1	Coefficient de contrôle multiplicatif			
ERROR	29	Signal d'erreur			
ERSK	1	Coefficient de commande périphérique cutané			
EVAGM & T	1	Quantité d'eau Moyenne et Totale évaporée au niveau de la peau			
EVAPM & T	1	Perte de chaleur par évaporation Moyenne & Totale au niveau de la peau			
EVG	7	Masse d'eau évaporée			
F	29	Vitesse de variation des températures			
FCL	7	Facteur d'augmentation dû aux vêtements			
FCLE & H	7	Facteur d'augmentation dû aux vêtements en conditions Eté et Hiver			
FCV	7	Flux conductif sur la peau			

$$DRIP(I)=(SUD(I))*(1-REST(I))+(H2O(I)-H2OMX(I))/DT$$

$$E(N+3)=W(I)*EMAX(I)+EDIF(I)$$

$$EDIF(I)=0.06*(1-W(I))*EMAX(I)$$

$$ER1=WARM(1)-COLD(1)$$

$$ERP = WARM(1)*WARMSK-COLD(1)*COLDSK$$

$$ERROR(N) = (TT(N)-TSET(N))$$

$$ERSK = WARMSK-COLDSK$$

$$EVAGT = \sum E(4*I)/QL(TT(4*I))$$

$$EVAPT = \sum E(4*I)$$

$$F(N) = HF(N)/C(N)$$

Noms	Dim	Désignation	Unité	Valeur	Var
FL	7	Vitesse de variation de la température des vêtements	°C/s		V
H2O	7	Quantité d'eau sur la peau	kg		V
H2OMX	7	Quantité d'eau maximale sur la peau	kg	calcul	K
HC	7	Coefficient de convection	W/°Cm ²		V
HC1&HC2	"	" permettant de calculer HC	"	fichier	K
HF	29	Flux de chaleur stocké dans les compartiments (<i>Heat Flux</i>)	W		V
HFCL	7	" " " " les vêtements	"		"
HFM & T	1	Stockage de chaleur Moyen & Total	"		"
					HFT = Σ HF(n)
HUMR	1	Humidité relative	-		I
I		Indice de boucle (en général pour les segments i=1,7)	-		
ICAS	1	Cas étudié ICAS = 1 --> conditions d'hiver vêtements épais ICAS = 2 --> conditions d'été vêtements fins	-	-	P
ICOMPT	1	Compteur de pas de temps			
INFO	10	Paramètres de TRNSYS			T6
ISENS	8	Sensation thermique	-		v
I.....		I21/I31/I32, IBLOQ, IGAM, IOCIL1,2,3 Indices pour le blocage des oscillations			
K	1	Indice de boucle (<i>en général pour les 4,couches</i>)			
N	1	Indice de boucle (<i>en général pour les 29 compartiments</i>)			
NI	1	Nombre d'INPUTS			T6
NOM	1	Paramètre correspondant au nom du fichier contenant les paramètres physiologiques	-	-	P
ONOFF		Conduction au niveau des mains 1 = Off 2 = Off	-	-	P
OUT	50	Sorties TRNSYS			T6
PAIR	1	Pression de vapeur d'eau dans l'air	Pa		I
PAR	10	Paramètres de TRNSYS			T6
PCHIL	1	Coefficient de contrôle des frissons, (produit)	W/°C ²	35	K

Noms	Dim	Désignation	Unité	Valeur	Var
PCL	7	Pression de vapeur à la surface des habits	Pa		V
PCONT	7	Portion de surface en contact		fichier	K
PCONTE & H	7	Portion de surface en contact en conditions Eté et Hiver		fichier	K
PDILA	1	Coefficient de contrôle de vasodilatation (produit)	1/s°C ²	0,007	K
PERSUR	7	Proportion de surface corporelle de chaque segment		fichier	K
PMI	7	Pression de vapeur d'eau dans la couche d'air sous vestimentaire	Pa		V
PSAT	fo ^{ct}	Pression de vapeur saturante à température T	Pa		fct
PSK	7	Pression de vapeur à la surface de la peau	Pa		V
PSSK	7	Pression de vapeur saturante à la surface de la peau	Pa	PSSK(i) = PSAT(IT(i))	V
PSTRI	1	Coefficient de contrôle de vasoconstriction (produit)	1/s°C ²	50	K
PSWEA	1	Coefficient de contrôle de sudation (produit)	W/°C ²	70	K
Q	29	Production de chaleur métabolique	W		V
QM, QT	1	Production moyenne et totale de chaleur métabolique (<i>Heat Production</i>)		QT = Σ Q(N)	V
QB	29	Production de chaleur métabolique basal	W	fichier	V
QBT	1	Métabolisme basal total		QBT = Σ QB(n)	K
QDRIP	1	Quantité d'eau totale qui ruisselle depuis le début	kg		V
QEVAP	1	Quantité d'eau totale évaporée depuis le début	kg		V
QL	fo ^{ct}	Calcul de la chaleur latente de vaporisation à température T	J/kg	QL(T) = (597,5 - 0,59 T)*4180	fct
QSUD	1	Quantité d'eau totale transpirée depuis le début	kg		V
RAYCL	7	Flux net rayonné au niveau des vêtements	W		I
RAYSK	7	" " " " " " de la peau	W		I
RAYM & T	1	" " " " vers l'extérieur Moyen et Totale	W		V
RC1	1	Coefficient expérimental pour le calcul du flux conductif sur les mains	W/°C	-	P
RCL	7	Résistance thermique des vêtements	m ² °C/W	fichier	P
RCLE & H	7	Résistance thermique des vêtements en conditions Eté et Hiver	m ² °C/W	fichier	P

Noms	Dim	Désignation	Unité	Valeur	Var
RESPL RESPS	1	Echange respiratoire de chaleur latente Echange respiratoire de chaleur sensible			
			W		V
REST	7	Rendement Evaporatoire de la Sudation Thermique			
			-		V
RSOLT	1	Rayonnement solaire total	W		V
RSWEA	1	Sudation résiduelle	-		V
RT _{1,2,3,4} RP _{1,2,3,4}	7	résistance aux transferts de chaleur sensible " " " " latente	°C/W Pa/W	cal	K
SCHIL	1	Coefficient de contrôle périphérique des frissons	W°C	30	K
SDILA	1	Coefficient de contrôle périphérique de vasodilatation	W°C	0,007	K
SF	7	Surface cutanée de chaque segment	m ²	cal	K
SFE	7	Surface d'échange avec l'extérieur (autre que les zones en contact)	m ²		K
SKC	7	Coefficient de répartition de vasoconstriction		fichier	K
SKR	7	Poids de chaque segment pour la sensibilité calcul de WARMSK et COLDSK		"	"
SKS	7	Coefficient de répartition de sudation		"	"
SKV	7	Coefficient de répartition de vasodilatation		"	"
SSTRI	1	Coefficient de contrôle périphérique vasoconstriction	W/°C	50	K
SSWEA	1	" " " de la sudation	"	70	"
STIME	1	Temps	h		V
STOK	100	Variable de stockage d'un pas de temps sur l'autre			T6
STRI	1	Coefficient de contrôle vasoconstriction	l/s		V
SUD	7	Sudation	kg/s		V
SUDM & T	1	Sudation totale Moyenne & Totale	"		"
SUR	7	coefficient de pondération pour les bonus solaire	-	fichier	K
SWEA	1	Coefficient de contrôle de sudation	W		V
TA	7	Température de l'air ambiant	K		I

Noms	Dim	Désignation	Unité	Valeur	Var	
TC	29	Coefficient de conduction entre 2 couches	$TD(N) = TC(N) * (TT(N) - TT(N+1))$	W/°C	fichier	K
TCL	7	Température des habits		°C		V
TCLO	1	Température moyenne des vêtements	$TCLO = S (TCL(i) * SF(i)) / Adu$	"		"
TD	29	Echange conductif entre 2 couches	$TD(N) = TC(N) * (TT(N) - TT(N+1))$	W		V
TEXP	1	Température de l'air expiré	$TEXP = 32.5 + 0.066 * TA(1) + 1,99.10^{-4} * PAIR$	°C		V
TFINAL	1	Temps final de simulation		h		T6
TIME	1	Temps		"		
TIMEO	1	Temps de début de simulation		"		
Tinh(1)	1	Température de l'air inhalé		°C		I
TMI	7	Température des couches d'air sous vestimentaire		°C		V
TSET	29	Température de consigne		°C	fichier	K
TSK	1	Température moyenne cutanée	$TSK = \Sigma (TT(4*I) * C(4*I)) / CSK$	°C		V
TSS	8	Température "de sensation"	$TSS = (TT(4*I) - TA(1)) / 2$	°C		V
TT	29	Température des 29 compartiments	$TT(N) = TT(N) + F(N) * DT$	°C		V
TV	1	Température du volant		°C		I
U	29	Valeur absolue de F	$U = ABS(F(N))$	°C/s		V
VA	7	Vitesse de l'air		m/s		I
W	7	Mouillure cutanée	$W(I) = SQR1(H2O(I) / H2OMX(I))$	-		V
WARM	29	Signal de chaud	si $ERROR(N) > 0$ $WARM(N) = ERROR(N)$	°C		V
WARMSK	1	Signal total cutané de chaud	$WARMSK = S WARM(4*I) * SKR(I)$	°C		V
WORK	1	Travail externe	$WORK = ACT - QBT$ $WORK > 0$	W		V
WORKI	7	Coefficient de répartition du travail externe	$\Sigma WORKI(i) = 1$	-	fich	K
WTOT	1	Mouillure cutanée totale	$WTOT = SW(I) * PERSUR(I)$	%		V
XCHIL	1	Valeur maximale de contrôle de frisson		W	300	K
XDIL	1	Valeur Max. du Coefficient de vasodilatation		l/s	0,042	K

Noms	Dim	Désignation	Unité	Valeur	Var
XIN	40	INPUTS de TRNSYS			T6
XL	1	Coefficient de variation du métabolisme au chaud		$XL = 1 + 0,5 * SWEA / XXL$	V
XSTRI	1	Valeur maximale du coefficient de vasoconstriction	l/s	200	V
XSWEA	1	Valeur maximale du coefficient de sudation	W	465	K
XXL	1	Coefficient de pondération de l'influence de la sudation sur le métabolisme	W	3483	K