

# MODELISATION THERMIQUE DES BATIMENTS D'ELEVAGE DE POULETS DE CHAIR EN VUE D'OPTIMISER LE CHOIX DES EQUIPEMENTS ET LES PARAMETRES DE REGULATION

**Robin Paul<sup>1</sup>, Amand Gérard<sup>2</sup>, Nicolas Christian<sup>3</sup>, Chevalier Dylan<sup>4</sup>,  
Gallot Sylvain<sup>2</sup>, Pigache Elodie<sup>4</sup>, Keïta Alassane<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>INRA, UMR SAS – F-35000 Rennes, France

<sup>2</sup>ITAVI – Antenne Ouest - F-22440 Ploufragan, France

<sup>3</sup>Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne - 29270 Carhaix, France

<sup>4</sup>Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire - 49105 Angers, France

<sup>5</sup>Anses UEB – Service SELEAC – F-22440 Ploufragan, France

[paul.robins@inra.fr](mailto:paul.robins@inra.fr)

## RÉSUMÉ

Les progrès dans la génétique et l'alimentation des poulets de chair, associés à des besoins plus pointus des secteurs de la transformation et de la distribution ont conduit à une amélioration de la technicité des éleveurs et de leurs conseillers. La maîtrise de l'ambiance autour des animaux (température, hygrométrie, vitesse d'air, éclairage) permet aux animaux d'exprimer leur potentiel génétique. Le bâtiment et ses équipements apportent les moyens d'obtenir les conditions d'ambiance optimales durant tout un lot. Toutefois, la maîtrise est complexe du fait de la configuration du bâtiment (dimensions, isolation, type de sol), du nombre d'équipements concernés (ventilation, chauffage, échangeurs de chaleur, éclairage), du nombre de paramètres de réglage de ces équipements, des interactions avec les flux biologiques ainsi qu'avec le climat. La modélisation présentée ici intègre les processus associés d'une part aux équipements du bâtiment, d'autre part aux régulations biologiques. Elle calcule les résultats d'ambiance (température et hygrométrie) à un pas de temps horaire (détection des périodes à risque) ainsi que les résultats économiques associés à un calendrier de production, des charges fixes et des charges variables. Les scénarios choisis évaluent les conséquences sur la concentration intérieure en CO<sub>2</sub>, la consommation de gaz, de différents choix de chauffage, débit de ventilation minimum, pour différentes situations d'isolation et de climat. Ces résultats sont discutés sous l'angle de la faisabilité économique d'un investissement, l'acceptabilité sociétale de l'élevage ou son impact environnemental.

## ABSTRACT

### **Thermal modeling of broiler houses to optimize the choice of equipment and regulation parameters**

Advances in the genetics and feeding of broiler chickens, coupled with more specific needs in the food chain, have led to improvements in the technicity of farmers and technicians. Environment control (temperature, hygrometry, air speed, lighting) allows animals to express their genetic potential. The house with its equipment provide the means to maintain optimal conditions during a whole batch whatever the outside climate is. However, choosing optimal practices is complex because of the configuration of the building (dimensions, insulation, type of floor), the number of equipment (ventilation, heating, heat exchangers, lighting), the number of regulation parameters, interactions with biological flows and with the climate. The model presented here integrates the processes associated on the one hand with the building and on the other hand with the biological regulations. It calculates the inside climate (temperature and humidity) at an hourly time step (detection of critical periods) as well as the economical results associated with a production schedule and fixed/variable costs. The chosen scenarios evaluate the consequences on the CO<sub>2</sub> indoor concentration, the gas consumption of different heating choices, minimum ventilation rate, for various house insulation and climate. The results are discussed in terms of the economic feasibility of an investment, the societal acceptability of livestock or its environmental impact.

## INTRODUCTION

Les progrès dans la génétique et l'alimentation des poulets de chair, associés à des besoins plus pointus des secteurs de la transformation et de la distribution ont conduit à une amélioration de la technicité des éleveurs et de leurs conseillers. La maîtrise de l'ambiance autour des animaux (température, hygrométrie, qualité de l'air, vitesse d'air, éclairage) fait partie des paramètres techniques qui permettent aux animaux d'exprimer leur potentiel génétique (Cobb, 2008). Le bâtiment et ses équipements apportent les moyens d'obtenir des conditions d'ambiance optimales durant tout un lot (CIGR, 1984, 2002). Toutefois, la maîtrise est complexe du fait de la configuration du bâtiment (dimensions, isolation, type de sol, ...), du nombre d'équipements concernés (ventilation, chauffage, échangeurs de chaleur, éclairage), du nombre de paramètres de réglage de ces équipements, des interactions avec les flux biologiques ainsi qu'avec le climat. A cette complexité d'usage s'ajoute la complexité des enjeux d'optimisation : demandes des filières aval, changement climatique, incertitude réglementaire en regard des évolutions possibles associées aux enjeux de bien-être animal et d'environnement. Cette complexité rend les arbitrages délicats au moment d'investir dans de nouveaux matériels.

Ce travail se focalise sur le choix du débit minimum de ventilation d'un bâtiment d'élevage de poulets de chair. Dans les bâtiments où la concentration en CO<sub>2</sub> peut dépasser le seuil réglementaire de 3000 ppm (CCE, 2007), ce choix renvoie simultanément aux enjeux de durabilité économique (limitation des charges variables), sociale (directive « bien-être animal ») et environnementale (réduction de la consommation d'énergie). Différents scénarios de fonctionnement thermique du bâtiment sont comparés en utilisant un modèle thermique de bâtiment (Marcon et al., 2017). Les scénarios diffèrent par la nature du système de chauffage, l'isolation du bâtiment, la température extérieure et le débit minimum. La discussion des résultats de consommation d'énergie et de teneur en CO<sub>2</sub> dans l'ambiance met en perspective la durabilité des choix d'investissements ou de paramètres de régulation.

## 1. MATERIELS ET METHODES

### 1.1. Présentation du modèle

Un modèle de simulation thermique a été développé en partenariat entre l'ITAVI, l'INRA, les Chambres d'Agriculture de Bretagne et des Pays de la Loire et l'ANSES, dans le cadre du projet CASDAR MEDIBATE (Marcon et al., 2017). Ce modèle (Figure 1) :

- intègre le rôle des équipements dans la régulation d'ambiance afin de tester leur effet

spécifique ainsi que leur réponse à des paramètres de réglage différents ;

- intègre les régulations biologiques connues pour les animaux et la litière (chaleur totale, sensible, émission d'H<sub>2</sub>O et de CO<sub>2</sub>) ;
- calcule les résultats d'ambiance (température, hygrométrie, CO<sub>2</sub>) en fonction du bâtiment (isolation), des équipements (ventilation, chauffage), des animaux (courbe de croissance, indice de consommation) et du climat (température, hygrométrie) à un pas de temps horaire (détection des périodes à risque) ; les équations utilisées sont celles validées pour le dimensionnement des bâtiments (CIGR, 1984, 2002)
- calcule les résultats économiques associés à un calendrier de production, des charges fixes (bâtiment) et des charges variables (aliment, énergie).

### 1.2. Scénarios choisis

Le scénario de référence correspond à un cas moyen (bâtiment de 1500 m<sup>2</sup>, avec un coefficient de pertes parois de 1 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>, équipé d'un chauffage intérieur par aérothermes au gaz ; ITAVI-CNEVA, 1998). Des poulets standard sont élevés de 0,04 à 2 kg en 33 jours, à une densité de 21 animaux m<sup>-2</sup>. La température de consigne diminue de 32°C à 22°C, le débit de 0,5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> PV au minimum. La série climatique choisie comme exemple avait une température comprise entre 5 et 15°C en début de lot et descendait à -4°C en fin de lot (Figure 2). Les scénarii alternatifs combinent l'isolation renforcée du bâtiment (diminution par 2 des pertes parois), la combustion indirecte (c'est-à-dire absence de rejet de gaz de combustion dans l'ambiance et donc de CO<sub>2</sub>), un débit minimum jusqu'à 2 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> PV, une température extérieure abaissée de 5°C. Les consommations de gaz sont intégrées sur un lot. La puissance maximale de chauffage est recherchée sur l'ensemble du scénario.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Résultats

Les flux de chaleur présentés sur la Figure 2 (cas du débit minimum de 1 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> PV) montrent qu'en début de lot l'essentiel de la puissance produite par le chauffage est perdue par les parois. En fin de lot en revanche, la chaleur produite par les animaux est évacuée par la ventilation. En conséquence, si leur production de chaleur sensible ne permet pas de réchauffer l'air entre la température extérieure et la température de consigne, la consommation de gaz pour le chauffage de l'air peut devenir élevée.

Les Figures 3 et 4 montrent, au 5<sup>ème</sup> et au 33<sup>ème</sup> jour d'élevage, que l'augmentation du débit minimum permet de réduire la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'ambiance des élevages. La combustion indirecte a deux

conséquences : la teneur en CO<sub>2</sub> est plus faible qu'avec une combustion directe ; la baisse de température extérieure n'entraîne pas une hausse de la concentration intérieure en CO<sub>2</sub>. En début de lot, le débit minimum de 1 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> PV permet d'obtenir une concentration de 3000 ppm dans le cas de la combustion indirecte. En cas de combustion directe, une meilleure isolation du bâtiment (ou des températures extérieures plus douces) permet de s'approcher de ce seuil. En fin de lot, pour une consigne voisine de 22°C, le débit minimum de 1 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> PV permet d'obtenir une teneur en CO<sub>2</sub> voisine de 3000 ppm malgré le besoin de chauffage.

La Figure 5 montre que la consommation de gaz augmente de 2 kg gaz m<sup>-2</sup> lot<sup>-1</sup> (1 à 3) lorsque le débit minimum de ventilation augmente de 0.5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> PV et qu'elle augmente de 100% (60 à 140%) lorsque la température extérieure diminue de 5°C. Lorsque l'augmentation est associée à la ventilation en fin de lot, elle est peu affectée par une meilleure isolation du bâtiment.

La Figure 6 présente les puissances de chauffage nécessaires pour assurer les températures optimales pour les différents scénarios. Les puissances habituellement installées varient de 90 à 120 W.m<sup>-2</sup> bâtiment. La Figure 6 montre que cette puissance risque d'être insuffisante pour apporter aux animaux leur température de confort si la température extérieure devient inférieure ou égale à 0°C alors que le débit minimum a été fixé à 1 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> PV ou plus.

## 2.2. Durabilité des choix d'investissements

L'investissement dans un bâtiment d'élevage engage la durabilité de l'élevage sur le long terme. Les Figures 3 à 6 montrent que dans certaines situations de bâtiments, le respect du seuil de 3000 ppm n'est possible qu'à condition que les conditions climatiques soient favorables. En effet, lorsque les températures sont froides, le bâtiment moyennement isolé, la combustion à l'intérieur du bâtiment, l'augmentation du débit minimum pour atteindre ce seuil (0.5 à 1 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> PV) fait passer la consommation de gaz de 0.4 à 3 kg gaz m<sup>-2</sup> lot<sup>-1</sup> soit une augmentation d'environ 15% des charges variables. Cette situation n'est durable ni sur le plan environnemental (consommation de ressources non renouvelables, émission de gaz à effet de serre) ni sur le plan économique (charges variables excessives).

Dans le cas d'un investissement dans un bâtiment neuf ou dans une rénovation, le modèle que nous avons développé permet de simuler les performances de l'installation et d'évaluer, pour le climat prévu sur les prochaines décennies, si les matériels sont compatibles avec les besoins d'ambiance et avec la limitation des consommations d'énergie. Dans le cas où une consommation de chauffage excessive en fin de lot est détectée, le modèle permet de dimensionner un échangeur-récupérateur de chaleur (débit total, coefficient de récupération).

Les simulations ont été faites pour une courbe de consigne. Une diminution de la température de consigne réduirait le dimensionnement du chauffage.

## 2.3 Durabilité du choix des paramètres de régulation

Le débit total de ventilation est minimum durant la première semaine d'élevage. A ce moment, les pertes de chaleur par la ventilation sont faibles en regard des pertes par les parois. L'augmentation du débit minimum de 0,5 à 1,5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> PV a pour conséquence d'augmenter la dépense de chauffage mais l'effet sur l'amélioration de l'ambiance (CO<sub>2</sub>, hygrométrie, particules, conséquences sur l'évolution de la litière) peut améliorer les performances animales. Dans cette hypothèse, ce choix de régulation améliore la durabilité économique et sociétale (amélioration du bien-être animal) au détriment d'une dégradation modérée de l'impact environnemental (consommation de combustible).

En fin de lot, l'augmentation du débit minimum est envisageable si une baisse de la température de consigne est compatible avec le bien-être thermique des animaux.

## CONCLUSION

L'augmentation du débit minimum de ventilation permet techniquement d'obtenir une concentration maximale de 3000 ppm de CO<sub>2</sub> dans les élevages de poulets. Dans certaines situations de bâtiments ou de climats, la mise en œuvre de cette augmentation est en contradiction avec la durabilité économique ou environnementale de l'élevage en raison des consommations excessives d'énergie qu'elle induit. Les situations les plus critiques sont celles de la combustion directe et des bâtiments de conception ancienne, dont l'isolation est moyenne ou dégradée.

En cas de combustion indirecte et de bâtiment bien isolé la mise en œuvre est possible en début de lot. Pour éviter le risque d'une surconsommation d'énergie en fin de lot, il convient de prévoir des récupérateurs de chaleur.

Ces résultats obtenus dans le cas des poulets à croissance rapide doivent être confirmés dans le cas de souches à croissance plus lente.

Les perspectives sont de diffuser une version de ce modèle aux conseillers et éleveurs et d'étendre la modélisation à d'autres productions afin de faciliter l'optimisation des choix d'investissements ou de paramètres de régulation. Certains résultats de simulation peuvent générer une polémique sur le plan économique, sociétal ou environnemental. Dans ce cas, une validation en conditions commerciales est nécessaire avant d'envisager des simulations.

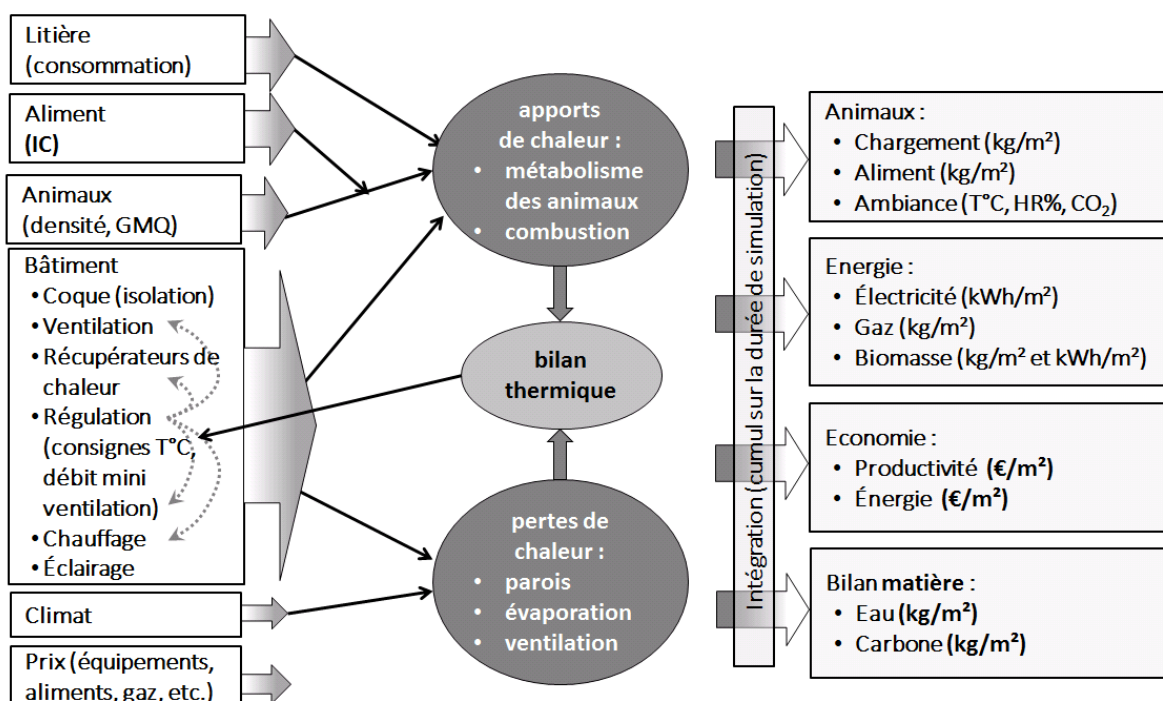
## REMERCIEMENTS

Projet financé par le CASDAR (2010-2014 N°1172)

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

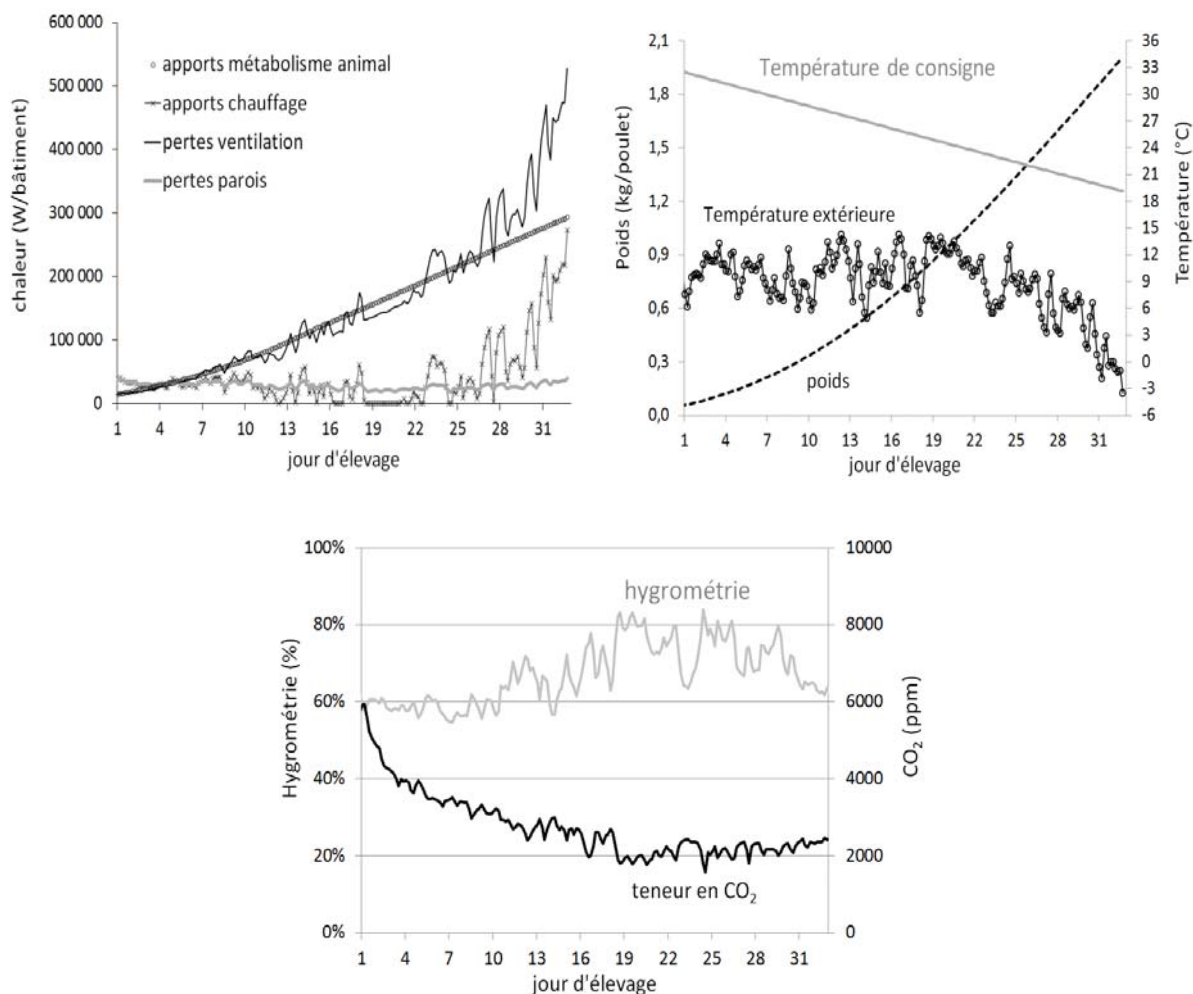
- CCE, 2007. Directive du Conseil 2007/43/EC fixant des règles minimales de protection des poulets destinés à la production de viande. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007L0043>
- CIGR, 1984. Report of working group on Climatization of Animal Houses. Editors: Scottish Farm Building Investigation Unit. Craibstone, Aberdeen, Scotland. ISBN 0 902433 33 4. 80p. <http://www.cigr.org/documents/CIGR-Workinggroupreport1984.pdf>
- CIGR, 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. Heat and moisture production at animal and house levels. Editors: Pedersen, S. & Sällvik, K. ISBN 87-88976-60-2. [http://www.cigr.org/documents/CIGR\\_4TH\\_WORK\\_GR.pdf](http://www.cigr.org/documents/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf), 46p.
- Cobb, 2008. Guide d'élevage. 70p.
- ITAVI-CNEVA, 1998. La gestion technique des bâtiments avicoles. Sciences et Techniques Avicoles 1998, hors série, 64 p.
- Marcon M., Massabie P., Amand G., Robin P., Chevalier D., Kergourlay F., Nicolas C., Keita A., 2017. Modélisation des flux d'énergie directe et indirecte pour les bâtiments des filières porcine et avicole. Innovations Agronomiques (*en cours*).

**Figure 1.** Schéma conceptuel du modèle MEDIBATE développé par Marcon *et al.* (2017).

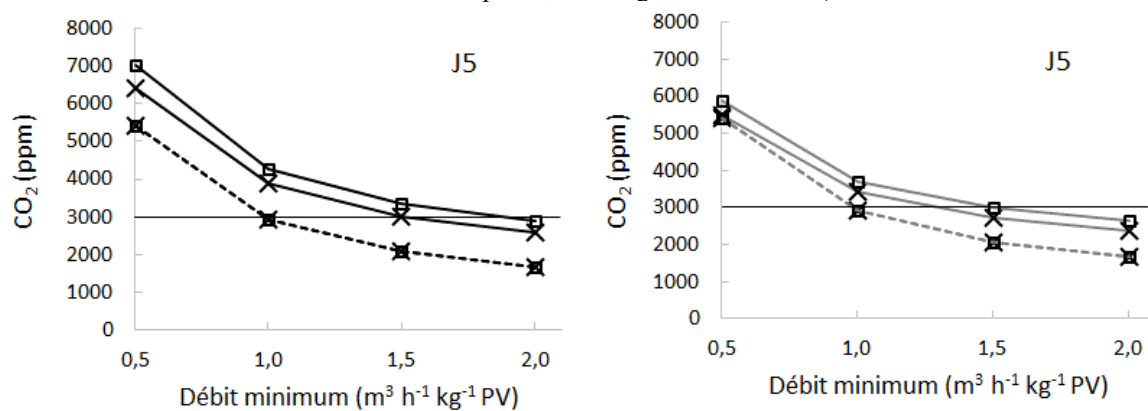


IC : indice de consommation ; GMQ : gain moyen quotidien, T°C : température, HR% : humidité relative, CO₂ : dioxyde de carbone)

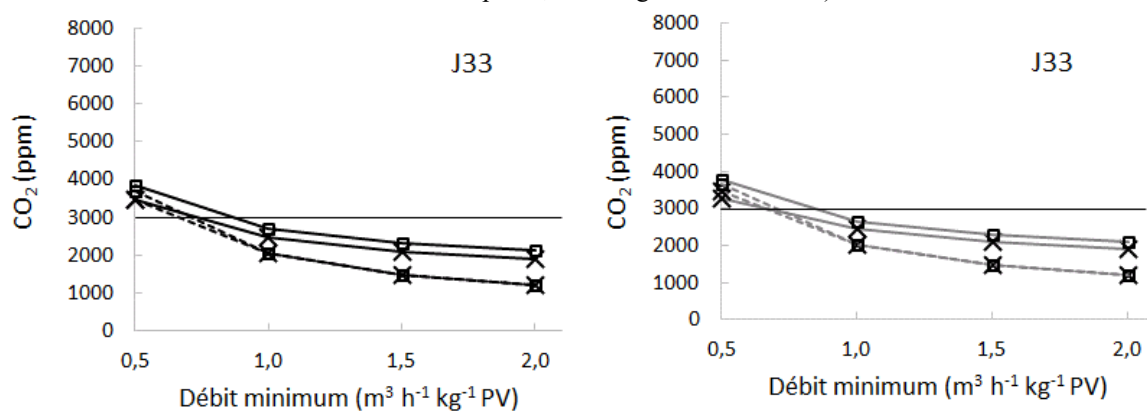
**Figure 2.** Évolution des productions et apports de chaleur du bâtiment ; évolution du climat (scénario températures « normales », combustion directe, débit minimum  $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ PV}$ )



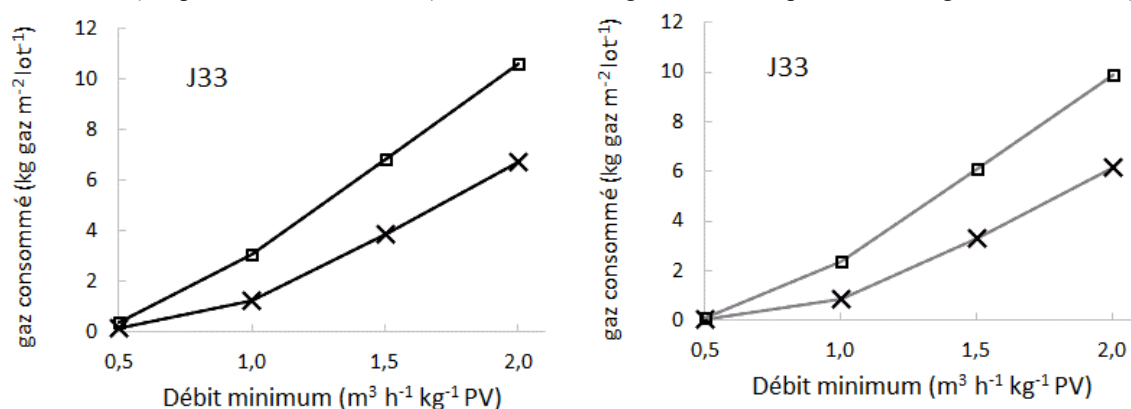
**Figure 3.** Concentrations en  $\text{CO}_2$  en fonction du débit minimum au jour 5 (isolation « normale » [coefficient de transmission thermique  $1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ] : lignes noires ; isolation renforcée [ $0,5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ] : lignes grises ; températures « normales » : croix ; températures « faibles » (température normale  $- 5^\circ\text{C}$ ) : carrés ; chauffage direct : trait plein ; chauffage indirect : tirets)



**Figure 4.** Concentrations en CO<sub>2</sub> en fonction du débit minimum au jour 33 (isolation «normale» [coefficient de transmission thermique 1 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>] : lignes noires ; isolation renforcée [0,5 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>] : lignes grises ; températures «normales» : croix ; températures « faibles » (température normale – 5°C) : carrés ; chauffage direct : trait plein ; chauffage indirect : tirets)



**Figure 5.** Consommation de gaz totale (isolation «normale» [coefficient de transmission thermique 1 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>] : lignes noires ; isolation renforcée [0,5 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>] : lignes grises ; températures «normales» : croix ; températures « faibles » (température normale – 5°C) : carrés ; chauffage direct : trait plein ; chauffage indirect : tirets)



**Figure 6.** Puissance de chauffage nécessaire (isolation «normale» [coefficient de transmission thermique 1 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>] : lignes noires ; isolation renforcée [0,5 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>] : lignes grises ; températures «normales» : croix ; températures « faibles » (température normale – 5°C) : carrés ; chauffage direct : trait plein ; chauffage indirect : tirets)

