

MEDIBATE, un modèle dynamique des flux d'énergie directe et indirecte dans les bâtiments d'élevage de porcs pour l'aide à la décision

Structure du modèle et premières applications

Michel MARCON (1), Patrick MASSABIE (1*), Frédéric KERGOURLAY (2), Jean-Yves DOURMAD (3), Yvon SALAUN (1)

(1) IFIP-Institut du porc, La motte au vicomte, 35650 Le Rheu (*en poste actuellement chez Terrena Innovation)

(2) Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne, 5 allée Sully, 29322 Quimper Cedex, France

(3) INRA - Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

Michel.Marcon@ifip.asso.fr

Avec la collaboration de Yvan COZIEN, Elias ZAHLAN, et Alexia AUBRY

MEDIBATE, un modèle dynamique des flux d'énergie directe et indirecte dans les bâtiments d'élevage de porcs pour l'aide à la décision

Dans les élevages de porcs, les consommations d'énergie directe sont, par nature, dépendantes des échanges thermiques entre les bâtiments et leur environnement, eux-mêmes conditionnés par la gestion de l'ambiance des salles. L'impact de ces conditions d'ambiance sur les performances des porcs en croissance est par ailleurs bien connu au travers de nombreuses publications au cours des vingt dernières années. Il est donc apparu possible et pertinent de réaliser un outil d'aide au conseil basé sur un modèle dynamique (MEDIBATE). L'objectif de ce modèle est de prédire les consommations d'énergie occasionnées par le chauffage et la ventilation des salles d'élevage, en relation avec des variables d'action comme les caractéristiques de la salle (isolation...), les équipements (chauffage, ventilation), la gestion de l'ambiance (températures de consigne...) et les animaux (nombre, stade). La structure du modèle et les équations utilisées sont décrites dans ce papier. La température est prédite toutes les 30 secondes. *In fine*, le modèle obtenu est en mesure de simuler la température d'une salle avec un écart journalier moyen de 0,32°C ($\pm 0,19^\circ\text{C}$) par rapport à des enregistrements réalisés *in situ* en stations expérimentales, soit un écart inférieur à la précision des sondes de température utilisées pour les mesures. La température prédite permet dans le même temps de simuler le taux de ventilation et le niveau de chauffage nécessaires pour respecter les consignes choisies par l'utilisateur. Une prédiction des consommations d'énergie directes peut alors être réalisée. Les flux d'énergie indirecte sont estimés à partir de la prédiction de la consommation moyenne journalière d'aliment, en tenant compte du poids vif de l'animal et de la température ambiante. L'association future d'un bilan économique à ce modèle permettra d'évaluer le résultat de la mise en œuvre de différents choix techniques.

MEDIBATE, a dynamic model of direct and indirect energy exchanges in pig barns for field decision support

In pig farms, direct consumption of energy depends on thermal exchanges between indoor and outdoor, which are related to the rules of climate management in the rooms. Besides, the impact of indoor climate conditions on pig growth and efficiency is well known through an extensive literature over the last twenty years. Therefore, it appeared possible and consistent to support field advice by designing a tool based on a dynamic model (called MEDIBATE). This model represents and predicts at barn room level the energy balance impacted by 'action levers' such as room characteristics (insulation) and equipment (heating, ventilation), climate control management (temperature driving) and animals (number, status). The general design and the equations involved in MEDIBATE are described in this paper. The temperature is predicted every 30 seconds. The results are evaluated and compared to values measured in an experimental farm. This comparison shows an average daily gap of only 0.32°C ($\pm 0.19^\circ\text{C}$), lower than the accuracy of the monitoring device. The model also simulates the ventilation rate and heating required to reach the target temperature allowing the calculation of direct energy consumption. Indirect energy is calculated through the prediction of daily feed intake, considering the effect of both the live weight and ambient temperature. Finally, economic calculations will be added to the model to allow the comparison of different housing design and management strategies.

INTRODUCTION

Comme tous les autres secteurs d'activité, le monde de l'élevage doit être en mesure de faire évoluer ses pratiques pour limiter le recours aux énergies fossiles, en limitant à la fois ses consommations d'énergie directes mais aussi indirectes. Le pilotage des conditions d'ambiance dans les bâtiments porcins est à cet égard un levier déterminant. L'optimisation de ces conditions dans différents contextes (climat, qualité des bâtiments, automatismes disponibles, type d'animal) constitue l'enjeu du projet MEDIBATE. A l'échelle du système complexe que représentent les bâtiments d'élevage porcins, l'ambition est de modéliser les flux d'énergie en intégrant les connaissances disponibles en matière de bioclimatologie (échanges thermiques animal / bâtiment / milieu et leurs déterminants) et de consommations d'énergie. Il s'agit *in fine* de proposer aux acteurs un outil opérationnel pour l'aide à la décision.

En comparaison de modèles existants, plus partiels ou spécialisés comme des outils traitant de la concentration en ammoniac dans les salles (Dourmad *et al.*, 2008), ou encore trop complets car à l'échelle d'une exploitation (Chardon *et al.*, 2012), l'outil proposé s'intègre dans une démarche globale au niveau du bâtiment, prenant en compte les interactions entre les différents paramètres/flux, ce qui limite les possibles incohérences dans le conseil, tout en réduisant le nombre des diagnostics à faire par l'éleveur. A titre d'exemple, un diagnostic sur les consommations d'énergie directes pourrait conduire à conseiller de limiter l'utilisation du chauffage pour réaliser des économies d'énergie alors qu'un diagnostic des conditions d'ambiance suggérerait, à l'inverse, d'augmenter le chauffage pour maintenir la température de confort des animaux et réduire l'indice de consommation alimentaire (énergie indirecte et enjeu économique). D'autres modèles comme celui proposé par Montel *et al.* (2000) ont également inspiré ce travail.

Le modèle développé permet aussi, en situation d'élevage, une évaluation individuelle fondée sur les descripteurs propres à cet élevage (et non sur des valeurs archétypales moyennes). La qualité du diagnostic s'en trouve améliorée et l'impact de possibles actions est appréhendé avant leur mise en œuvre éventuelle, évitant ainsi des choix incohérents (en termes d'investissements par exemple).

Cet outil inclut également un module « économique » délivrant une synthèse précise des temps de retour sur investissement des actions en faveur des économies d'énergie directe et indirecte. Il analyse également les gains attendus d'une amélioration de l'efficacité énergétique de l'élevage, pouvant porter tant sur le pilotage du système que sur son évolution structurelle (modification des bâtiments, mise en œuvre d'équipements spécifiques).

L'objectif du présent article est de présenter le modèle d'évaluation des flux d'énergie directe et indirecte (MEDIBATE) développé dans le cadre de ce projet, ainsi qu'un exemple d'analyse des résultats obtenus. Pour satisfaire aux exigences décrites ci-dessus, le modèle devait nécessairement être dynamique, c'est-à-dire, intégrer la dimension temporelle. Il a été développé pour couvrir les quatre stades physiologiques rencontrés en élevage : la gestation, la maternité, le post-sevrage et l'engraissement. Dans cet article, seules les équations relatives à l'engraissement sont détaillées alors que les résultats présentés concernent à la fois l'engraissement et le post-sevrage.

En outre, bien que le modèle soit construit pour la détermination des consommations d'énergie directe et indirecte, les résultats présentés ne traitent que de la température de la salle. Nous avons considéré que le lien intrinsèque existant entre la température d'une salle et les consommations d'énergie pour le chauffage et la ventilation de cette même salle permet de s'assurer qu'une bonne description de la température de la salle équivalait à une juste évaluation des dépenses énergétiques.

1. CONSOMMATION D'ENERGIE DIRECTE

1.1. Définition et origine des consommations d'énergie directe

L'énergie directe (aussi appelée énergie finale) consommée par un élevage de porcs est définie comme l'énergie dégradée définitivement par une installation ou un équipement. Par exemple, l'énergie directe électrique sera celle utilisée pour les besoins en force motrice des ventilateurs ou pour les radiants électriques.

1.1.1. Principaux postes de consommation d'énergie directe

En élevage porcins, quatre fonctions à l'origine de la consommation d'énergie directe sont identifiées : (1) le chauffage, (2) la ventilation, (3) l'éclairage et (4) les automates de distribution des aliments. Les consommations d'énergie pour les postes (3) et (4) peuvent facilement être appréhendées par le calcul du temps de fonctionnement des équipements, multiplié par leur puissance. En revanche, la ventilation et le chauffage sont généralement régulés par un système de gestion électronique. Il est donc difficile pour l'éleveur de connaître le couple temps de fonctionnement-puissance nécessaire pour évaluer les dépenses énergétiques.

1.1.2. Régulation du chauffage et de la ventilation

La ventilation et le chauffage des salles d'élevage sont gérés de façon progressive avec une évolution linéaire entre un minimum et un maximum correspondant aux bornes d'une plage de température.

Une description générale de l'évolution du chauffage et de la ventilation est présentée à la figure 1. Le chauffage est à son niveau maximum (généralement 100% de la puissance disponible) lorsque la température de la salle est inférieure à une valeur seuil dite « consigne de chauffage ». Le chauffage est réduit jusqu'à un minimum (généralement 0%) atteint lorsque la température de la salle dépasse un second seuil dit « consigne de ventilation ». Au-delà de cette valeur, la ventilation (jusqu'à son régime minimal) s'accroît en intensité (linéairement avec la température) pour atteindre son maximum lorsque la température atteint ou dépasse le maximum de la « plage de ventilation ». Enfin, le positionnement relatif des consignes de chauffage et de ventilation a également son importance.

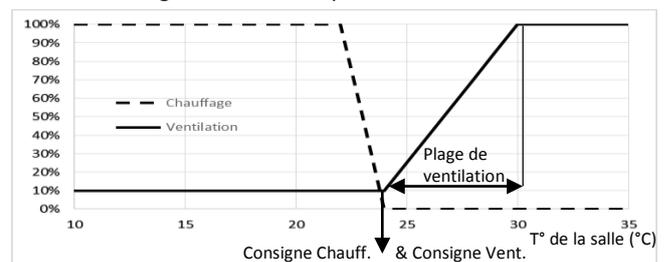


Figure 1 – Représentation du fonctionnement de la régulation du chauffage et de la ventilation (% de la puissance maximale)

Le modèle MEDIBATE représente donc cette logique de régulation pour déterminer les consommations d'énergie directe de chauffage et de ventilation. Or, comme le montre la figure 1, le couple ventilation/chauffage étant piloté par la température de la salle, la construction du modèle MEDIBATE s'articule donc autour d'un bilan thermique permettant de déterminer de façon dynamique (en continu) la température de la salle.

1.2. Schéma général de MEDIBATE

1.2.1. Logiciel utilisé

Le modèle a été construit en mobilisant le logiciel Vensim® (Vensim® DSS for Windows Version 5.11A, Ventana Systems). Le choix de ce logiciel est basé sur sa capacité à traiter un grand nombre d'opérations très rapidement et de manière dynamique (la variable « temps » étant intégrée). La réalisation d'interfaces utilisateur encapsulant un moteur basé sur Vensim® permet la réalisation d'un outil ergonomique pour un applicatif de terrain capable de donner des résultats instantanés.

Le caractère dynamique du modèle (l'intégration de la dimension temporelle) donne par ailleurs la possibilité de prendre en compte finement l'incidence du climat et de sa variabilité : (1) variabilité de court terme (pour le diagnostic), à travers ses rythmes (journalier voire saisonnier) qui complexifient les choix d'optimums (la moyenne des résultats instantanés, constituant la réalité, pouvant différer sensiblement du résultat simplement établi sur la base de niveaux moyens des paramètres d'entrée), (2) évolution de plus long terme, pour l'analyse, plus prospective, de scénarios incluant des évolutions climatiques (par exemple, l'impact du réchauffement planétaire sur le bilan environnemental des élevages hors-sol) qui peut permettre d'identifier des solutions préventives lors de la conception des futurs systèmes d'élevage.

1.2.2. Architecture de MEDIBATE

MEDIBATE est un modèle dynamique qui repose sur le principe du bilan thermique (Figure 2) et reproduit le fonctionnement des boîtiers électroniques de régulation de l'ambiance.

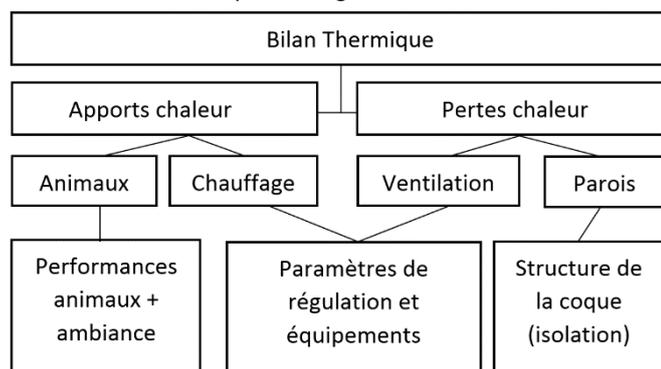


Figure 2 – Architecture globale de l'outil

Un bilan thermique est établi toutes les trente secondes. Un pas de temps très court est en effet nécessaire pour reproduire de manière réaliste les réactions du système de régulation opérant en continu.

1.2.3. Bilan thermique

Le bilan thermique (Bt) réalisé dans le modèle MEDIBATE est constitué de la somme des apports de chaleur dont sont soustraites les pertes thermiques (Tableau 1). Les apports de chaleur ont deux origines : (1) le chauffage dont la quantité

d'énergie apportée à un instant « t » est directement dépendante des paramètres de régulation des équipements et de la puissance totale installée, (2) la production de chaleur sensible des animaux, établie à partir des équations proposées par Ström dans le groupe de travail de la CIGR en 1984 et complétée par la CIGR en 1992.

Les pertes de chaleur prises en compte dans le modèle sont également de deux types (Tableau 1) : (1) les pertes par les parois de la salle et (2) les pertes occasionnées par le renouvellement de l'air. Ces pertes ont été calculées à partir des principes de base de la thermodynamique (Diu *et al.*, 2007). Ce bilan détermine un déficit ou un excédent de chaleur pour les trente secondes précédentes. Les conséquences de ce bilan sur la température de la salle au temps t (t_{salle_t}) sont alors données par l'équation suivante :

$$t_{salle_t} = t_{salle_{t-30}} + (Bt/Cv_{salle}/Vsalle)$$

où $t_{salle_{t-30}}$ est la température de la salle au temps t - 30 secondes, Cv_{salle} est la chaleur volumique de l'air et V_{salle} le volume de la salle.

Ainsi, la température de la salle à un instant t dépend directement de la température de cette salle à l'instant t-30 et du bilan thermique.

Tableau 1 – Equations du bilan thermique dans MEDIBATE

Postes du bilan	Equation utilisée dans MEDIBATE
Bilan thermique B_t , W	$B_t = App_A + App_C - P_p - P_v$
Apport de chaleur par les animaux App_A , W	$App_A = Ch_{sens}$ $Ch_{sens} = Ch_{tot} \times [0,8 - 1,85 \times 10^{-7} \times (t+10)^4]$ $Ch_{tot} = 29 \times (P+2)^{0,5} - 40$ t = température de la salle, °C P = poids des animaux, kg Ch_{sens} = chaleur sensible, W Ch_{tot} = chaleur total, W
Apport de chaleur par le chauffage App_C , W	$App_C = Prop_c \times Puissance\ installée$ $Prop_c = (C_c - t) \times ((Max_c - Min_c) / Pla_c)$ C_c = consigne de chauffage, °C $Prop_c$ = proportion de chauffage, % Max_c = maximum de chauffage, °C Min_c = minimum de chauffage, °C Pla_c = plage de chauffage, °C
Pertes thermiques par les parois P_p , W	$P_p = U \times S \times \Delta(t)$ U = déperdition thermique surfacique, W/m ² °C S = surface déperditive, m ² $\Delta(t)$ = différence de température intérieure/extérieure
Pertes thermiques par la ventilation P_v , W	$P_v = Cv \times D \times \Delta(t)$ Cv = chaleur volumique de l'air, W/m ³ .°C D = débit d'air, m ³ /h

1.2.4. Eléments de simplification

Le modèle MEDIBATE ayant comme finalité le développement d'un outil opérationnel de terrain, il était nécessaire de réduire le plus possible la quantité d'informations à collecter tout en maximisant la précision de la prédiction des consommations d'énergie par le modèle.

Cet objectif a entraîné plusieurs simplifications du calcul du bilan thermique. Ainsi, les pertes thermiques par les parois ont été réduites à celles des seules parois donnant sur l'extérieur. Les échanges thermiques entre les parois de deux salles contiguës sont donc considérés comme négligeables vis-à-vis de celle générées par le renouvellement d'air. A titre d'exemple, une salle de post-sevrage de 200 places chauffée à 28°C avec une température extérieure de 0°C perd en moyenne 9520 Wh par la ventilation, 298 Wh par les murs en contact avec l'extérieur et seulement 57 Wh par les murs contigus à une salle d'engraissement ou de post-sevrage. De plus, le modèle MEDIBATE considère une répartition parfaitement uniforme sur les 86400 secondes d'une journée. Par exemple, la production de chaleur totale d'un porc charcutier est considérée comme identique pour chaque seconde d'une même journée, quel que soit son niveau d'activité. Enfin, le stockage d'énergie dans les murs et les sols n'a pas été pris en compte dans le modèle.

2. CONSOMMATION D'ÉNERGIE INDIRECTE

2.1. Définition de l'énergie indirecte

L'énergie indirecte correspond à l'énergie directe dépensée au cours des processus de production de l'ensemble des intrants du système étudié. Ici, le système concernant uniquement le bâtiment d'élevage, les sources notables de consommations d'énergie indirecte sont l'alimentation des animaux et les produits vétérinaires.

Les niveaux de dépenses en énergie indirecte sont obtenus par des analyses de cycle de vie (ACV). Dans le cadre du développement du modèle MEDIBATE, nous nous sommes intéressés uniquement à l'aliment puisqu'il représente à lui seul plus 94 % des consommations d'énergie indirecte d'un élevage de porc (Colomb *et al.*, 2014).

2.2. Prise en compte des consommations d'aliment

2.2.1. Calcul de la CMJ

Les consommations d'aliment dans le modèle MEDIBATE sont calculées à partir de la consommation moyenne journalière (CMJ) ou, le pas de temps étant de 30 secondes, de la Consommation Moyenne Journalière par Seconde (CMJS), soit $CMJS = CMJ / 86400$.

Pour le porc à l'engrais, de nombreux travaux ont été réalisés et montrent une relation de type curvilinéaire entre l'ingestion alimentaire et la température ambiante. En 1983, une équation est proposée par Nienaber et Leroy-Hahn (1983) pour une gamme de températures (T) de 5 à 30°C.

$$CMJ = 1520 + 10,6 \times PV + 54,6 \times T - 2,6 \times T^2$$

(avec CMJ en g/j, PV = poids vif en kg, et T en °C)

Quiniou *et al.* (1998) proposent pour une gamme de températures plus restreinte, une équation qui intègre une interaction entre le poids vif et la température : plus les animaux sont lourds, plus l'effet de la température est important.

$$CMJ = -3885 + 279 \times T - 5,2 \times T^2 + 97 \times PV - 0,3 \times PV^2 - 1,6 \times T \times PV$$

(avec CMJ en g/j, PV en kg et T en °C)

Quiniou *et al.* (2000) proposent une nouvelle équation qui réduit l'impact de la température pour les animaux lourds.

$$CMJ = -1264 + 117 \times T - 2,40 \times T^2 + 73,6 \times PV - 0,26 \times PV^2 - 0,95 \times T \times PV$$

(avec CMJ en g/j, PV en kg et T en °C)

D'autres travaux prennent en compte la composition alimentaire et en particulier sa teneur en énergie pour affiner les équations de prédiction. Pour le modèle MEDIBATE, ce niveau de précision n'a pas été retenu, car il demande une description fine de la composition des aliments rendant difficile l'usage du modèle en élevage.

2.2.2. Calcul de l'indice de consommation

La température ambiante impacte également l'efficacité alimentaire. Lorsque le porc est placé à une température inférieure à la plage de thermoneutralité, une partie de l'énergie ingérée est mobilisée pour le maintien de la température corporelle et l'efficacité alimentaire s'en trouve dégradée.

L'indice de consommation (IC) peut être prédit en fonction du poids de l'animal. L'équation proposée par Quiniou *et al.* (2004) pour le porc en croissance est la suivante :

$$IC = 1,479 + 0,016 \times PV$$

(avec IC en kg/kg et PV en kg)

Pour tenir compte de l'effet de la température sur l'IC chez le porc à l'engrais, il a été retenu, d'après les travaux de Massabie *et al.* (1996), une détérioration de l'efficacité alimentaire pour des valeurs inférieures à 28 °C (selon une loi polynomiale d'ordre 2). Ainsi, la valeur calculée est augmentée du coefficient correcteur calculé selon l'équation suivante :

$$Corr = 0,0009 \times (28 - T)^2 + 0,0052 \times (28 - T) + 0,0061$$

(avec T, en °C)

Le gain de poids vif (GMQ) est déterminé à partir de l'indice et de la consommation d'aliment et permet de calculer le PV au pas de temps suivant.

2.3. Adaptation aux performances d'un élevage

2.3.1. Correction de l'IC et de la CMJ

Lorsque le modèle MEDIBATE simule le fonctionnement d'une salle, l'IC, la CMJ, le GMQ, et le poids d'abattage sont calculés sur la base des équations précédentes. Or, en réalité, nous observons un décalage entre le potentiel calculé par le modèle MEDIBATE et les performances techniques réelles de l'élevage.

Le poids des animaux étant la base de calcul de leur production de chaleur, les éléments de performances techniques doivent être au plus près de la réalité pour obtenir une estimation satisfaisante du bilan d'énergie directe. Pour ce faire, deux coefficients de correction ont été introduits dans le modèle ; (1) une correction sur la CMJS et (2) une correction sur l'IC.

Le coefficient de correction de la CMJS (α) est égal au rapport entre la CMJS réelle (celle renseignée par l'éleveur) et la CMJS simulée. De même, le coefficient de correction de l'IC (β) est calculé en multipliant le GMQ simulé par α et en divisant le résultat par le GMQ 30-115 kg réel renseigné par l'utilisateur.

Ces corrections nécessitent donc une double itération du modèle : la première pour obtenir la CMJS et le GMQ simulés et la seconde pour établir le bilan définitif en appliquant les coefficients calculés α et β afin de respecter les performances techniques de l'élevage.

3. ANALYSE DES RESULTATS DU MODELE

3.1. Jeux de données

Afin de tester le bon fonctionnement du modèle, des jeux de données issues des stations expérimentales de l'IFIP (SCEA du Grands clos et GIE Villefranche Grand Sud) ont été utilisés. Des données issues de la station des Chambres d'agriculture de Bretagne seront utilisées ultérieurement pour valider le modèle sur les truies gestantes et les maternités.

Les stations météorologiques des élevages expérimentaux ont permis l'acquisition de la température et de l'humidité horaire extérieure. Dans les salles d'élevage, les jeux de données ont été enregistrés par le boîtier électronique de régulation. Les données retenues pour la validation du modèle ont été la température ambiante de la salle et le taux de ventilation, à une fréquence de quatre enregistrements par heure.

Le taux de ventilation (en pourcentage du débit maximal) est mesuré par un débitmètre (hélice folle) placé en amont du

ventilateur et la température par une sonde spécifique (thermocouple).

Un lot d'engraissement de 96 porcs a ainsi été utilisé pour valider le taux de ventilation et la température prédits par le modèle (lot 1). Puis trois lots supplémentaires de porcs à l'engrais (lots 2 à 4) ont été mobilisés pour valider la température ambiante prédite, les données des taux de ventilation étant indisponibles. Enfin cinq lots de post-sevrage (lots 5 à 9) ont également permis de valider la prédiction de la température ambiante.

3.2. Résultats de validation du modèle

Globalement sur les neuf jeux de données disponibles présentés dans le tableau 2, l'écart moyen entre les températures moyennes simulées et mesurées est de 0,28°C. Cet écart est inférieur à la précision des sondes de température ambiante ($\pm 0,5^\circ\text{C}$). Les moyennes des écarts observés pour les minimas et maximas de température sont respectivement de 0,87°C et de 0,39°C.

Tableau 2 – Résultats comparés des températures réelles enregistrées et des températures simulées par MEDIBATE pour quatre lots d'animaux en engraissement (1-4) et cinq lots de post sevrage (5-9)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Description des lots									
Poids d'entrée, kg	23,9	38,4	33,4	37,3	8,0	8,0	9,0	9,1	9,0
Poids de sortie, kg	109,1	106,8	108,3	103,3	27,8	27,8	27,3	25,6	28,2
T° de consigne de ventilation, °C	24 à 22	22	23	23	26 à 24	26 à 24	28 à 24	28 à 24	27 à 24
Températures simulées (pour une salle), °C									
Moyenne	25,9	25,3	24,6	28,1	25,4	26,0	26,4	26,6	26,1
Minimum	23,0	22,3	22,6	23,4	21,8	25,0	24,7	24,9	24,5
Maximum	33,5	34,0	33,6	40,2	26,7	28,6	28	27,9	27,7
Ecart-type	1,65	2,36	1,48	3,60	0,48	0,63	0,83	0,67	0,78
Températures réelles enregistrées (pour une salle), °C									
Moyenne	25,3	25,0	24,6	28,6	25,5	26,4	26,6	26,2	26,1
Minimum	22,6	21,1	22,4	23,2	20,5	23,0	24,8	24,0	23,0
Maximum	32,7	34,7	34,1	40,0	27,5	28,5	28,0	27,9	28,1
Ecart-type	1,64	2,36	1,84	3,83	0,96	0,80	0,70	0,66	0,95
Ecart entre températures simulée et enregistrée (pour une salle), °C									
Moyenne	0,6	0,3	0,0	0,5	0,1	0,4	0,2	0,4	0,0
Minimum	0,4	1,2	0,2	0,2	1,3	2,0	0,1	0,9	1,5
Maximum	0,8	0,7	0,5	0,2	0,8	0,1	0,0	0,0	0,4

Il apparaît que la moindre précision du modèle MEDIBATE dans la prédiction des minimas tient à une surestimation par le modèle des températures par rapport à celles réellement enregistrées. En effet, la maîtrise des débits minimums de ventilation influe directement sur la détermination des températures minimums d'une salle. Or, en élevage la gestion des débits minimums est plus ou moins chaotique contrairement au mode de fonctionnement du modèle qui atteint parfaitement le débit minimum saisi. Un traitement plus complet a été réalisé sur le lot 1, pour lequel on a établi quotidiennement, sur les 89 jours d'engraissement, la moyenne du taux de ventilation journalier et de la température de la salle pour les valeurs simulées et enregistrées. La moyenne journalière des températures réelles (Moy.TréelleJ) peut être décrite par la fonction suivante à

partir de la moyenne journalière des températures simulées (Moy.TsimJ) :

$$\text{Moy.TréelleJ} = 0,9872 \times \text{Moy.TsimJ} + 0,0017$$

avec un coefficient de détermination R^2 de 0,94 (Microsoft® Excel® 2013).

Pour le niveau de ventilation, l'équation suivante a été obtenue entre le taux moyen de ventilation réel (Moy.txVréel) et celui simulé (Moy.txVsim) :

$$\text{Moy.txVréel} = 1,11 \times \text{Moy.txVsim} + 0,0881 \text{ avec } R^2=0,96 \text{ (Microsoft® Excel® 2013).}$$

Les bons coefficients de corrélations indiquent que le modèle MEDIBATE décrit, avec une précision suffisante pour le cadre de cette étude, la température et le taux de ventilation de la salle.

Pour illustrer les écarts instantanés entre la température simulée par le modèle MEDIBATE et la température enregistrée, une extraction sur 24 heures des données est présentée à la figure 3. Les décalages observés peuvent être de plusieurs origines : (i) les mesures en élevage ayant été réalisées avec un pas de temps de 15 minutes, il est possible que le début de la simulation ait un décalage équivalent ; (ii) dans MEDIBATE les données entrantes avec un pas de temps différent du modèle subissent une extrapolation linéaire ; (iii) l'inertie du bâtiment, négligée dans MEDIBATE, et enfin (iv) la précision de la sonde de température ($\pm 0,5^\circ\text{C}$).

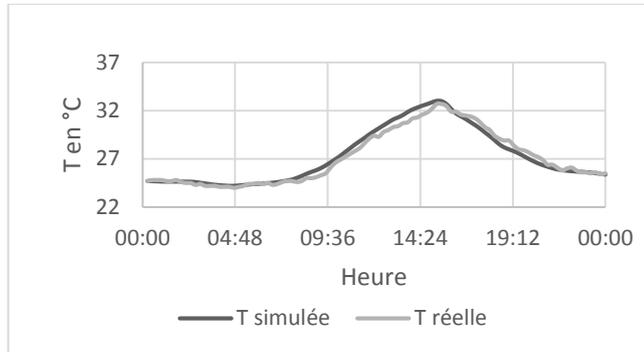


Figure 3 – Comparaison des températures simulées par le modèle MEDIBATE et celles réelles sur 24h

Nous avons également déterminé sur le lot 1 de porcs en engraissement la moyenne des écarts des températures réelles et simulées à partir des données instantanées extraites du modèle MEDIBATE toutes les 15 minutes (soit 8046 valeurs pour 89 jours d'engraissement). L'écart moyen est de $0,32^\circ\text{C}$ ($\pm 0,19$).

CONCLUSION

Le modèle MEDIBATE s'avère capable de reproduire de manière pertinente l'évolution des conditions d'ambiance à l'intérieur d'une salle selon les consignes établies et le contexte climatique. De ce fait, il est également un très bon

prédicteur de la consommation d'énergie d'une salle avec une précision suffisante par rapport à l'objectif fixé puisque le maintien d'une température dans une salle est intrinsèquement lié aux dépenses de chauffage et de ventilation (principaux modérateurs de l'ambiance). L'intégration du modèle MEDIBATE dans un outil accessible pour les éleveurs et les techniciens est en cours de réalisation. Il s'agit de développer une interface utilisateur suffisamment conviviale pour permettre son utilisation dans l'aide au conseil en conditions de « terrain ». Un groupe de bêta-testeurs permettra de valider le modèle sur la base d'un plus grand nombre de simulations avant une diffusion à plus grande échelle.

Enfin, au-delà de la représentation de l'engraissement décrite dans cet article, le modèle MEDIBATE aborde de manière comparable les autres stades physiologiques : truies en gestation et en maternité (avec des spécificités tant sur les questions énergétiques qu'alimentaires), porcelets en post-sevrage. En outre, un module d'analyse économique est en cours de développement.

Ainsi, dans sa configuration définitive, l'outil MEDIBATE associera, dans un contexte climatique donné, une évaluation économique à la prise de décisions d'envergures diverses, qu'il s'agisse de préciser une règle de pilotage (consignes de température...), de statuer sur l'opportunité de l'installation d'équipements (échangeur de chaleur, niches, chauffage en engraissement,...) ou, à plus long un terme, de déterminer les caractéristiques d'un investissement (niveau d'isolation d'un bâtiment, ...). Il devrait ainsi apporter une aide précieuse aux prescripteurs de l'éleveur sur ces questions : techniciens spécialisés en bâtiments d'élevage, équipementiers,...

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié du soutien financier du Ministère de l'agriculture et de la pêche dans le cadre de l'appel à projet CASDAR 2011.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chardon X., Rigolot C., Baratte C., Espagnol S., Raison C., Martin-Clouaire R., Rellier J-P., Le Gall A., Dourmad J-Y, Piquemal B., Leterme P., Paillat J-M., Delaby L., Garcia F., Peyraud J-L, Poupa J-C, Morvan T. and Faverdin P., 2012. MELODIE: a whole-farm model to study the dynamics of nutrients in dairy and pig farms with crops. *Animal*, 6, 1711-1721.
- CIGR, 1984. Report of Working group on climatization of animal houses, Bartussek H., Chirstiaens J., Pedersen S., De La Farge B., Wolfermann H.F., Chiappini U., Brandsma C., Lilleng H., Sallvik K., Rist M., Bruce J., Hahn L., Debruyckere M., Pratelli G., Scottish Farm Buildings Investigation Unit, Aberdeen, 72 p.
- CIGR, 1992. 2nd Report of Working group on climatization of animal houses, Bartussek H., Chirstiaens J., Sallvik K., Rist M., Bruce J., Deshazer J., Pedersen S., Wolfermann H.F., Chiappini U., Van Ouwerkerk E., Lilleng H. Aberdeen, 147 p.
- Colomb V, Ait Amar S, Basset Mens C, Gac A, Gaillard G, Koch P, Mousset J, Salou T, Tailleur A, van der Werf HMG (2014) AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling, In : R. Schenck & D. Huizenga (Eds.), Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014), 8-10 October 2014, San Francisco, USA. ACLCA, Vashon, WA, USA, pp. 248-254.
- Dourmad J.Y., Moset-Hernandez V., Espagnol S., Hassouna M., Rigolot C., 2008. Modélisation dynamique de l'émission et de la concentration d'ammoniac dans un bâtiment d'engraissement de porcs. *Journées Rech. Porcine*, 40, 267-268.
- Massabie P., Granier R., Le Dividich J., 1996. Influence de la température ambiante sur les performances zootechniques du porc à l'engrais alimenté ad-libitum. *Journées Rech. Porcine*, 28, 189-194.
- Montel B., Van Milgen J., Paboeuf F., Dourmad J-Y., 2000. Construction d'un modèle de simulation des performances zootechniques et des rejets azotés d'une bande de porcs charcutiers. *Journées Rech. Porcine*, 32, 51-58.
- Nienaber J.A., Leroy-Hahn G.L., 1983. ASAE Paper N MCR 83-137 ASAE, St Joseph, ML 49085.
- Quiniou N., Noblet J., Le Dividich J., Dubois S., Labroue F., 1998. Influence de l'élévation de la température ambiante et du poids vif sur le comportement alimentaire des porcs en croissance élevés en groupe. *Journées Rech. Porcine*, 30, 319-324.
- Quiniou N., Dubois S., Noblet J., 2000. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livest. Prod. Sci.*, 63, 245-253.
- Quiniou N., Le Cozler Y., Aubry A., 2004. Conséquences de l'augmentation du poids d'abattage induit par l'allongement de la durée d'engraissement (14 ou 20 semaines) sur les performances zootechniques des porcs charcutiers. *Journées Rech. Porcine*, 36, 173-180.
- Thermodynamique, 2007. Thermodynamique License-Master. Diu B., Guthmann C., Lederer D., Roulet B., HERMANN, 720 p.