

# Apports de la logique floue pour la régulation d'ambiance en porcherie

L. JOUFFE (1), C. DUTERTRE (2)

(1) I.N.S.A., Département Informatique - 20, avenue des Buttes de Coëmes, 35000 Rennes

(2) I.T.P., Pôle Techniques d'Élevage - La Motte au Vicomte, B.P. 3, 35651 Le Rheu Cedex

## Apports de la logique floue pour la régulation d'ambiance en porcherie

Actuellement, les régulateurs d'ambiance de bâtiments d'élevage fonctionnent tous selon le même principe. Le niveau de ventilation dépend essentiellement de la température de consigne et de la plage. Bien que la simplicité du principe de régulation apparaisse dans un premier temps comme un avantage, l'ambiance obtenue n'est pas satisfaisante sur le plan zootechnique dans bon nombre de situations climatiques.

L'élaboration d'un nouveau principe de régulation adapté à toutes les situations paraissant toutefois extrêmement difficile à spécifier et à réaliser, nous nous proposons d'avoir recours à une méthode de mise au point automatique de régulateur. Le régulateur choisi est un système d'inférence floue dont la partie conclusion des règles linguistiques est modifiée en cours d'apprentissage.

Cet apprentissage, appelé apprentissage par renforcement, consiste à modifier certaines caractéristiques de l'apprenti de façon à optimiser la somme des renforcements reçus en cours d'interaction avec l'environnement. Dans la communauté informatique, ces renforcements sont constitués de récompenses et punitions dont le rôle est d'indiquer à l'apprenti les zones climatiques bénéfiques et celles à éviter.

Une série d'expérimentations montre que l'apprenti parvient à maintenir température et hygrométrie dans les zones spécifiées lorsque les conditions climatiques le permettent. Par ailleurs, il suit tout à fait la politique définie par l'expert lorsque les conditions sont défavorables.

## Benefits of fuzzy logic in pig house atmosphere control

Actually, the regulators dedicated to pig-house atmosphere follow the same principle. Their working is in fact essentially based on a temperature set-point and on a temperature range. However, a statistical study has shown that the atmospheres obtained with this kind of controllers do not satisfy the zootechnic constraints in a number of situations.

Nevertheless, the specification and realization of a correct regulator seem extremely hard to carry out. This is the reason why we propose to use a learning method to tune automatically the controller. To implement this regulator, we have chosen a Fuzzy Inference System with a modifiable linguistic rule conclusion part.

To tune these conclusions, the learner uses a reinforcement learning method that consists in modifying the conclusions to optimize the global sum of reinforcement signals received over time during the interaction with the environment. In the computer science community, these reinforcement signals consist of rewards and punishments, and allow to indicate to the learner the zone to reach and to avoid respectively.

After a series of experimental studies, it appears that the atmospheres obtained with this new kind of controller satisfy totally the zootechnic constraints expressed by the experts. Indeed, the fuzzy controller reach to maintain temperature and hygrometry in the goal zones and follow a good policy when external conditions are unfavorable.

## INTRODUCTION

Dans les élevages de porcs intensifs, un défaut de programmation du boîtier de ventilation peut être à l'origine de pathologies respiratoires ou de troubles du comportement (caudophagie, cannibalisme). DUTERTRE et al. (1997), montrent par exemple qu'une température de consigne de 24°C, pourtant égale à la température optimale en engraissement, provoque en hiver une sous-ventilation de la porcherie. À cette saison, l'utilisation d'un chauffage est indispensable pour maintenir l'humidité relative en dessous de 75% et la teneur en ammoniac en dessous de 25 ppm. Ce réglage est par contre tout à fait adapté lorsque la température extérieure le permet, i.e. de mars à novembre.

En plus des conditions météorologiques, l'éleveur doit tenir compte du poids des porcs pour régler sa ventilation ; un porc de 100 kg dégageant 2 fois plus de chaleur qu'un porc de 30 kg, le risque de sur-ventilation est réel, a fortiori quand la température de consigne décroît au cours de la croissance des porcs. Cette remarque allant à l'encontre des besoins théoriques de l'animal, nombre d'éleveurs adoptent la démarche inverse. Certains boîtiers de régulation équipés d'un programme de diminution de la consigne au cours de la phase d'engraissement font automatiquement la même erreur.

La logique floue, compte tenu de la spécificité des recommandations d'experts en matière d'ambiance, peut tout à fait soulager l'éleveur de ces multiples interventions pour lesquelles il n'est ni formé, ni disponible.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODE

### 1.1. TRNSYS

Le logiciel TRNSYS permet de simuler l'évolution de la température et de l'humidité à l'intérieur d'un bâtiment en fonction de données météorologiques.

Le bâtiment "type" possède les caractéristiques suivantes :

- les parois sont constituées de parpaing de 15 cm, isolées thermiquement par 6 cm de mousse de polyuréthane extrudée,
- la toiture, couverte de plaque de Fibrociment, est isolée par 4 cm de mousse de polyuréthane,
- l'entrée d'air neuf dans chacune des salles est constituée d'un faux-plafond perforé en mousse de polyuréthane de 3 cm d'épaisseur,
- le comble est compartimenté de la même manière que les salles d'engraissement.

La modélisation de ce bâtiment par TRNSYS nécessite alors la spécification :

- des caractéristiques des éléments construits à partir des éléments précédents,
- des propriétés d'échange thermique des fenêtres double vitrage,
- de l'orientation du bâtiment,
- de la description du bâtiment,
- des échanges d'air, i.e. la caractérisation des différents circuits d'air.

En outre, la simulation de la présence des porcs est réalisée en définissant des gains en température et humidité à l'intérieur du bâtiment. Ces gains, calculés en fonction de la chaleur totale dégagée par les porcs sont répartis en chaleur latente et sensible. Cette dernière est elle-même répartie en chaleur convective (56 %) et radiative (44 %) imitant en cela les références existant pour l'homme nu. De plus, afin de modéliser la croissance des porcs (et par le fait même l'évolution des gains), nous avons fixé leur GMQ à 750 g/jour.

Enfin, la prise en compte des conditions météorologiques (1) est assurée par un fichier comprenant sept données :

- l'heure,
- la température extérieure,
- le rayonnement solaire direct,
- le rayonnement solaire diffus,
- l'azimut du soleil,
- la hauteur du soleil, et enfin
- l'humidité relative.

### 1.2. Régulateur classique

Les boîtiers de régulation classiques déterminent le niveau de ventilation en fonction de la température intérieure (mesurée par l'intermédiaire d'une thermistance placée au centre du bâtiment) et essentiellement des quatre paramètres suivants :

- une température de "consigne",
- une plage,
- un débit minimum et
- un débit maximum.

La température de consigne est la température ambiante pour laquelle, et en dessous de laquelle, la tension appliquée aux bornes des ventilateurs est à son minimum (75 volts, tension minimale pour éviter l'arrêt des ventilateurs).

Cette température ne représente donc pas une consigne à proprement parlé, mais un seuil à partir duquel le débit de ventilation va être augmenté.

La plage représente quant à elle le nombre de degrés nécessaires au passage du débit minimum au débit maximum. Elle permet de diminuer ou d'accélérer la vitesse de réaction du ventilateur.

Le débit de ventilation déterminé par le contrôleur est donc simplement défini par :

$$D = (D_{\max} - D_{\min}) \times \left( \frac{T_i - T_c}{p} \right) + D_{\min}$$

où :

- D représente le débit,
- D max. le débit maximum défini comme étant égal à 60 m<sup>3</sup>/h/porc conformément aux recommandations de l'ITP,
- D min. le débit minimum égal à 8 m<sup>3</sup>/h/porc suivant les mêmes recommandations,
- T<sub>c</sub> la température de "consigne",
- p la plage.

(1) Les données que nous avons considérées dans cette étude ont été recueillies dans la région rennaise.

### 1.3. Régulateur flou

Les contrôleurs flous sont des systèmes experts basés sur des règles Si-Alors et pour lesquelles les prémisses et les conclusions sont exprimées à l'aide de termes linguistiques. La proximité de ces règles au langage naturel dote ces systèmes flous d'une grande lisibilité et facilite ainsi l'introduction de toute connaissance a priori dans la base de règles.

Par opposition aux contrôleurs classiques, les contrôleurs flous ne nécessitent pas de modèles analytiques de la tâche à résoudre. Leur mise au point repose généralement sur l'expression, dans la base des règles linguistiques, de la logique suivie par les experts du domaine pour prendre des décisions. Cependant, cette extraction naturelle de connaissance n'est pas toujours réalisable en totalité. Pour ne prendre que le cas qui nous intéresse, si les experts sont à même de fournir les prémisses des règles, il en va tout autrement des conclusions.

Lorsque tout ou partie de l'extraction naturelle de connaissance s'avère impossible à réaliser, la solution consiste à extraire de la connaissance automatiquement, i.e. par le biais d'un apprentissage. Il existe plusieurs catégories de méthodes d'apprentissage, différenciées par le type de source d'informations utilisée par l'apprenti. L'apprenti peut en effet utiliser un professeur dont il doit imiter le comportement, un indice de performance lui permettant de s'évaluer sur une base d'exemples, ou encore utiliser un critique distribuant récompenses et punitions en fonction des actions effectuées. Dans la mesure où l'apprenti modifie son comportement afin d'optimiser les critiques « ressenties » comme bénéfiques, les méthodes associées à cette catégorie sont appelées des méthodes d'apprentissage par renforcement (par analogie avec la psychologie behavioriste).

Cette source d'information étant très peu contraignante, les méthodes d'apprentissage par renforcement sont d'une très grande souplesse et d'une grande simplicité d'utilisation. Le système d'apprentissage utilisé est le Fuzzy Actor-Critic Learning (FACL) (JOUFFE (1996) et JOUFFE (1997)). Ce système permet une mise au point automatique de contrôleurs flous en fonction de récompenses et punitions reçues pendant le contrôle.

Dans le cas qui nous intéresse, ces fonctions de renforcements ont été spécifiées par les experts du domaine porcin. Elles doivent définir les conditions d'ambiance satisfaisantes sur le plan zooteknique et les situations climatiques qu'il est absolument nécessaire d'éviter. Pour ce faire, il suffit d'associer aux situations recherchées des récompenses (afin d'informer l'apprenti que la zone atteinte est bénéfique), et de punir l'apprenti lorsqu'il conduit le système dans les zones à éviter.

L'analyse des conditions zootekniques a amené les experts à définir deux politiques optimales. Lorsque les conditions extérieures sont favorables, la première consiste à maintenir les température et hygrométrie intérieures proches de leurs valeurs optimales (autour de 24°C, et entre 45 et 75%). Dans le cas contraire (c'est-à-dire températures extérieures

trop faibles ou trop fortes), la seconde consiste à ventiler suffisamment peu pour limiter les entrées d'air froid, à ventiler suffisamment pour limiter au maximum les entrées d'air chaud, et enfin à éviter tout gradient thermique supérieur à 3°C. Les résultats présentés ci-dessous ont été obtenus par la collaboration de deux apprentis flous, un pour chaque politique optimale.

La qualité de la politique globale obtenue par le régulateur flou est jugée par l'intermédiaire de 12 tests comparatifs avec un régulateur classique paramétré avec une température de consigne de 22°C et une plage de 6°C. Chaque test correspond à une période d'engraissement de 105 jours (c'est-à-dire passage de porcelets de 30 kg à des porcs de 108,75 kg avec le GMQ choisi). Elle débute le premier du mois  $n$  et se terminant vers le 10 du mois  $n+3$ .

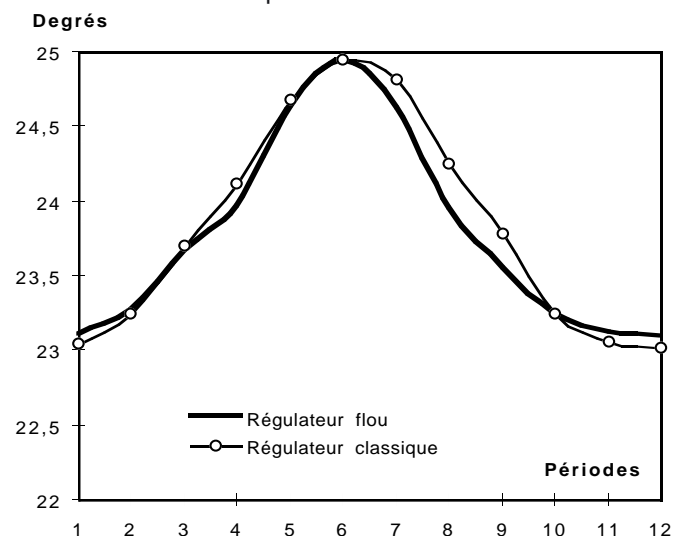
## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Résultats en température

Les températures extérieures moyennes évoluent de 5°C pour la période de décembre à mars, à 16°C pour celle de juin à septembre. L'unique moyen d'action du régulateur étant la ventilation, il est bien évident que le climat extérieur influe fortement sur la température intérieure de la porcherie. Il fait ainsi en moyenne 2°C de plus dans le bâtiment l'été que l'hiver.

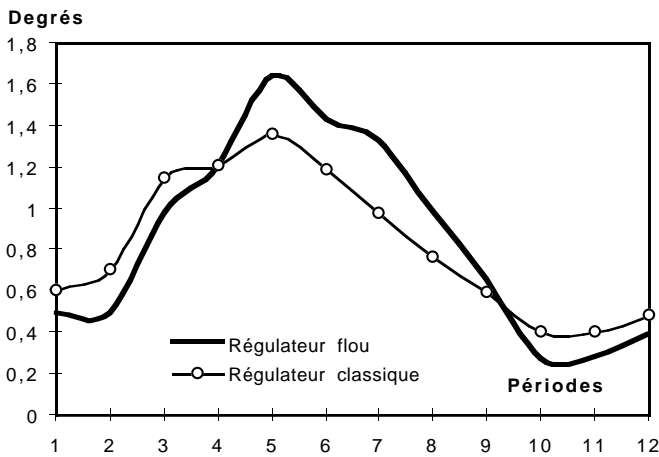
Le régulateur flou permet d'obtenir des températures légèrement plus chaudes l'hiver (périodes 11, 12 et 1) et plus froides l'été (périodes 7, 8 et 9) que le régulateur classique. Ce résultat est d'autant plus appréciable que le réglage de la régulation classique (Température de consigne = 22°C) est celui permettant les meilleurs résultats en termes de température moyenne en été (figure 1).

Figure 1 - Températures intérieures moyennes des périodes simulées



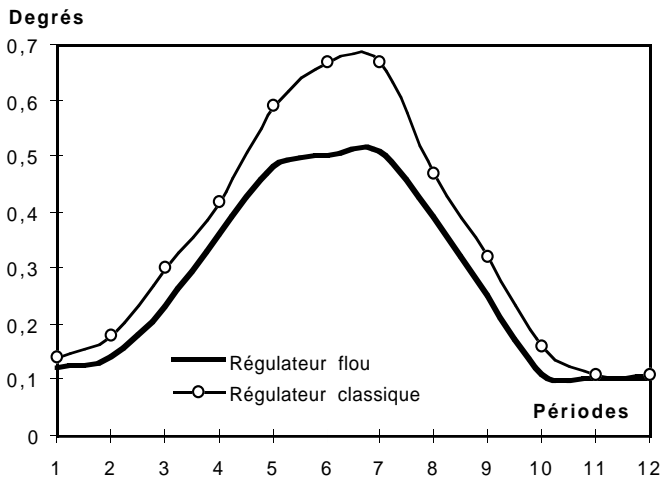
Il est cependant nécessaire de vérifier que les bons résultats obtenus par le régulateur flou du point de vue thermique ne se font pas au prix de forts gradients journaliers, comme c'est le cas avec une régulation classique.

**Figure 2** - Écart type des températures intérieures moyennes



La figure 2 indique que les gradients thermiques obtenus par le régulateur flou sont meilleurs (car réduits) pour les périodes fraîches d'octobre à avril. Pour les périodes estivales, c'est l'inverse, ce qui à première vue peut être perçu comme une dégradation des performances (l'un des buts est rappelons-le d'éviter les variations de températures journalières). Cependant, un écart type important sur la période dans sa totalité n'implique pas nécessairement de fortes variations journalières. Pour s'en convaincre, nous avons calculé les écarts types moyens journaliers de la température intérieure (figure 3).

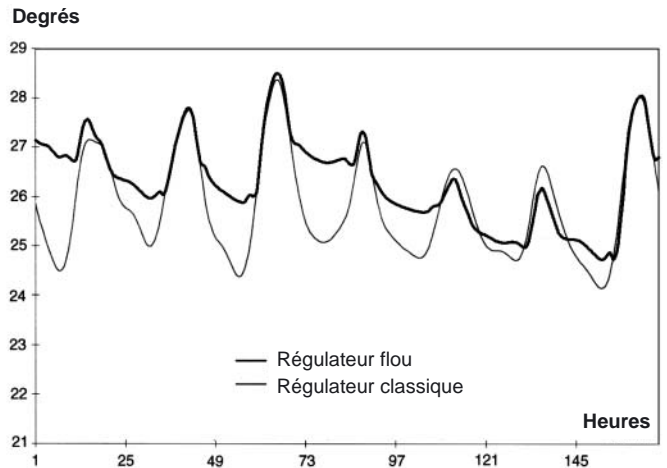
**Figure 3** - Écart-type moyen journalier de la température intérieure



Comme le montre la figure 3, le régulateur flou parvient à réduire l'amplitude thermique journalière toute l'année, et plus particulièrement durant les périodes chaudes. Le résultat obtenu précédemment est donc le signe d'une adaptation du régulateur flou aux conditions climatiques.

En outre, contrairement au régulateur classique, il parvient à maintenir une température moyenne peu élevée durant les périodes estivales tout en évitant de forts gradients thermiques journaliers (figure 4).

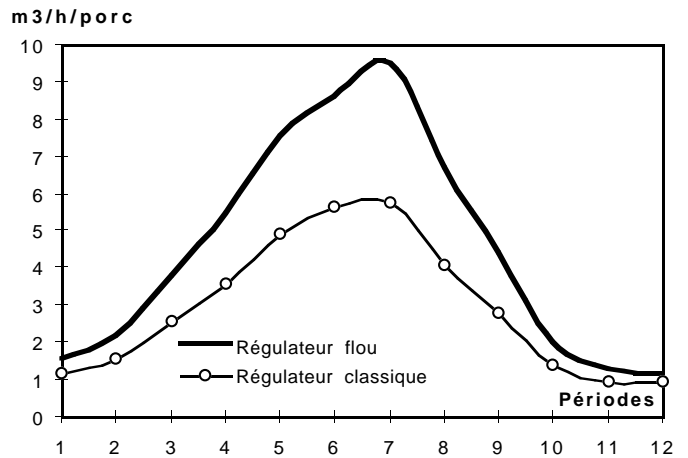
**Figure 4** - Température intérieure au cours de la dernière semaine de juin.



## 2.2. Résultats en débit

Cette amélioration notable des résultats en température s'effectue, comme le montre la figure 5, par le biais d'une variation journalière des débits de ventilation beaucoup plus importante dans le cas du régulateur flou.

**Figure 5** - Écart type moyen journalier des débits



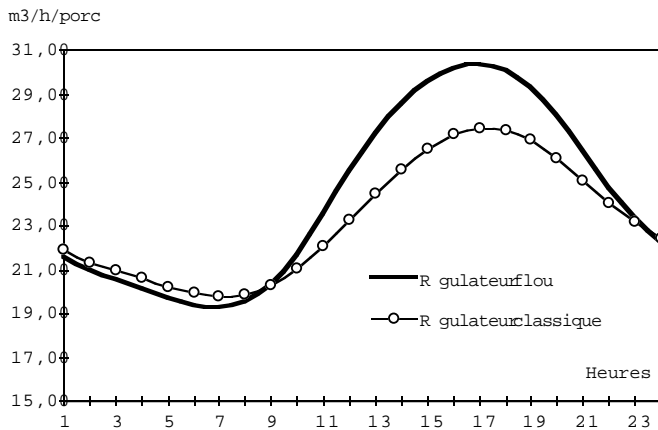
Afin de s'assurer que ces variations ne sont pas néfastes pour l'animal, nous avons calculé les moyennes de débits sur les 12 périodes en fonction de chaque heure. On constate ainsi, comme le montre la figure 6, que la politique du régulateur flou consiste à réduire fortement la ventilation la nuit et à l'augmenter largement l'après-midi.

Cette politique permet donc d'éviter les courants d'air froid la nuit et de ne ventiler fortement qu'aux moments les plus chauds de la journée, provoquant ainsi des courants d'air bénéfiques pour l'animal.

La figure 7 confirme la supériorité du régulateur flou pour amortir les amplitudes thermiques extérieures aussi bien en phase nocturne que diurne.

Le déphasage entre la sinusoïde représentant la température extérieure et celles représentant la température intérieure est

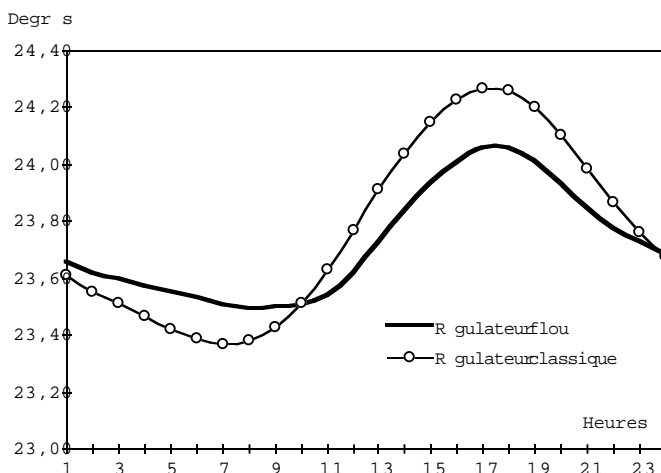
Figure 6 - Moyenne horaire des débits



constant et égal à une heure dans le cas du régulateur classique. La température la plus fraîche est en effet enregistrée à 7 heures dans le bâtiment contre 6 heures à l'extérieur. Même chose l'après-midi, où le maximum est enregistré en moyenne à 17 heures dans le bâtiment contre 16 heures à l'extérieur.

Le régulateur flou, en limitant l'entrée d'air froid la nuit, permet de décaler le minimum de température de 4 heures le matin. En accélérant fortement la ventilation à partir de 11h00, ce qui est sans crainte pour les porcs en été, il anticipe la hausse de température, d'où un déphasage d'une heure seulement l'après-midi.

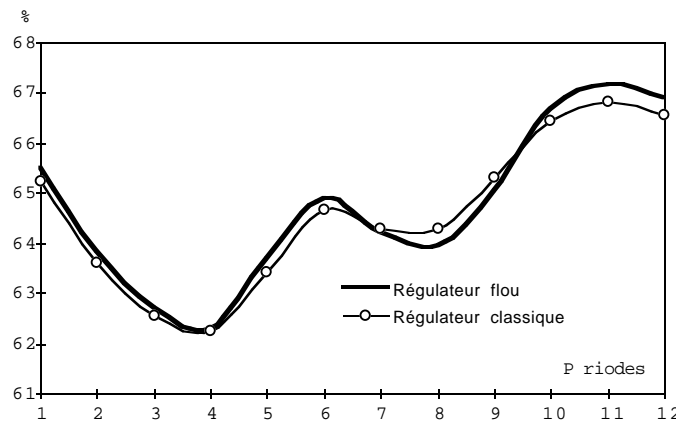
Figure 7 - Moyenne horaire de la température intérieure



### 3.3. Résultats en hygrométrie

L'humidité relative moyenne extérieure sur les 12 périodes est

Figure 8 - Humidité intérieure



comprise entre 75 et 88 %. Elle est maximale l'hiver et minimale l'été. Comme on peut le constater sur la figure 8, l'humidité relative intérieure suit globalement l'évolution de l'humidité relative extérieure tout en appartenant la zone cible (cf. paragraphe 1.3., p 351), et ce quel que soit le régulateur utilisé.

## CONCLUSION

Au vu de ces résultats expérimentaux, il s'avère que les deux apprentis flous ont réussi à résoudre la tâche spécifiée par leurs diverses fonctions de renforcement. En effet, la politique de régulation obtenue permet le maintien d'une température et d'une humidité relative intérieures proches des valeurs optimales. En outre, lorsque les conditions extérieures ne le permettent pas l'été, cette politique permet de limiter la hausse des températures. Les forts gradients thermiques journaliers et les risques de courants d'air froid au niveau des animaux la nuit sont également éliminés. Enfin, elle permet également de ventiler suffisamment l'hiver pour éviter tout problème d'ambiance.

Le régulateur flou comble donc les limites des régulateurs classiques. L'éleveur n'a en effet plus aucune intervention à effectuer (c'est-à-dire modification de la température de consigne et de la plage) pour s'assurer du bon fonctionnement toute l'année de sa régulation d'ambiance. De plus, n'ayant pas de paramètres définis par l'éleveur le régulateur flou évite tous réglages inadaptés.

Il ne s'agit pour le moment que de résultats issus de simulations, c'est-à-dire avec un bâtiment et des porcs virtuels. L'implémentation de nos apprentis dans un boîtier de ventilation doit permettre d'assurer une ambiance convenable dans le bâtiment d'élevage porcin toute l'année et pour toutes les catégories de porcs, sans aucune intervention de l'éleveur.

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- DUTERTRE C., JOUFFE L, VAUDELET J.C., ROUSSEAU P., 1997. Techni-Porc, 20 (1), 13-24. ITP éd. Paris.
- JOUFFE L., 1997. Apprentissage de systèmes d'inférence floue par des méthodes de renforcement : application à la régulation d'ambiance dans un bâtiment d'élevage porcin. Thèse de doctorat, Université de Rennes I, 198 pages.
- JOUFFE L., 1998. Fuzzy inference system learning by reinforcement methods. Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (sous presse).
- TRNSYS, 1983. A Transient System Simulation Program. University of Wisconsin, Madison, USA.