L'exposition aux radiofréquences peut-elle engendrer des changements de comportement?
Étude des influences non-thermiques possibles sur les abeilles à miel—une approche dans le cadre de l'informatique éducationnelle.

Résumé
Depuis quelques années, l'opinion publique se préoccupe de plus en plus des possible effets nuisibles à la santé humaine des champs électromagnétiques de haute fréquence, ou radiofréquences, (en particulier ceux des téléphones mobiles).
Si les effets thermiques de ces radiations ont pu être très bien expliqués, il n'est est pas de même de leurs effets non thermiques, qui ne sont qu'à peine clarifiés.
Dans nos derniers travaux, nous avons souligné le fait que—envisagées du point de vue de l'informatique éducationnelle— les abeilles constituent un bio-indicateur pertinent en tant que modèles d'êtres vivants dans l'étude des processus d'apprentissage, particulièrement dans cet aspect.
Dans le présent article, nous décrivons une première étude-pilote, qui explore l'influence non-thermique des champs électromagnétiques de haute fréquence. Pour cela, nous avons observé le comportement des abeilles à miel (*apis mellifica carnica*) en les exposant aux radiations de téléphones sans fil DECT. Dans cette étude, un certain nombre de colonies d'abeilles ont été utilisées comme groupe sujet d'expérience et ont été irradiées, tandis que le même nombre de colonies ont été hors champs électromagnétiques.
Les paramètres observés étaient le comportement constructeur des abeilles dans la ruche, le poids de celle-ci, (pour ces deux paramètres, huit colonies irradiées et huit non-irradiées ont été étudiées) et surtout le comportement de retour à la ruche des abeilles (pour ce dernier facteur, quatre colonies irradiées et quatre non-irradiées ont été étudiées).

Mots-clés
Exposition électromagnétique (aux radiofréquences), non-thermique, processus d'apprentissage, comportement modifié.

Introduction
Les media modernes, en même temps que l'utilisation croissante de l'informatique mobile dans l'enseignement, suscitent, entre autres, un débat public croissant sur les possibles effets secondaires de l'exposition humaine aux radiofréquences.
Ces dernières années, des études plus approfondies ont été initiées pour examiner l'effet des radiations electromagnétiques sur le vivant, qu'il s'agisse d'organismes ou de cellules. Mais jusqu'ici il n'existe aucun modèle adéquat expliquant les effets spécifiques sur les processus d'apprentissage, particulièrement non-thermiques. Dans ce contexte, nous souhaitons seulement mentionner la stimulation résonante d'organismes vivants, surtout de leur cerveau, par des champs électromagnétiques de haute fréquence de téléphones mobiles. Celle-ci a pu être observée par des altérations dans le comportement d'apprentissage de ces organismes.
Comme l'expérimentation humaine est bannie dans ce domaine, des bio-indicateurs adéquats devraient être utilisés pour évaluer un modèle possible. C'est pourquoi il est nécessaire que la structure du cerveau du bio-indicateur soit similaire dans des aspects importants à celle du cerveau humain, et qu'elle puisse être stimulée de manière résonante par les fréquences des mobiles en raison de sa taille. En conséquence, il faut trouver un bio-indicateur convenable pour valider un modèle

Traduction Brigitte Duault

fidèle de l'explication des effets des champs de radiofréquences sur les êtres humains, en particulier sur la structure du cerveau humain.
Pour déterminer un bio-indicateur possible pour une interprétation physique expérimentale du modèle, nous utilisons des études spécialisées sur le procesus d'apprentissage des abeilles à miel (dans une première étape). Dans notre modèle, nous supposons que les actions des abeilles à miel sont déterminées par leur connaissance de leur environnement. Par là, nous supposons que cette connaissance est la conséquence d'un traitement de l'information tel que décrit dans le Processus de Superation (Stever, 2002). Cette interprétation est soutenue par des résultats de recherche neurobiologique. Elle montre que les altérations des actions des abeilles sont associées à des modifications de certaines régions de leur cerveau, particulièrement les régions appelées "corps champignons"(Withers et al., 1993; Faber & Menzel, 2001). Pour cette raison, il nous faut considérer ces "corps champignons" comme des représentations de modèles internes résultant du processus d'apprentissage des abeilles. Ces modèles internes représentent des parties de l'environnement. En outre, souligne Menzel, la structure associative du cerveau des abeilles est similaire à celle du cerveau humain: dans les deux cas la mémoire passe par des séquences, qui diffèrent quant à leur susceptibilité à des dysfonctionnements et par la quantité de régions du cerveau y participant. (Menzel, 1993)
Pour résumer, ces résultats montrent que les abeilles conviennent à l'étude des bases neuronales de l'apprentissage et de la mémoire. En outre, les abeilles se révèlent être des bio-indicateurs maniables et pertinents pour l'élaboration de modèles adéquats de l'explication des effets des champs de radiofréquences sur les humains, particulièrement en ce qui concerne la structure de leur cerveau. L'observation des abeilles permet aussi parallèlement le développement de modèles théoriques orientés de l'effet (des radiofréquences) basés sur la théorie des supersignes.

Méthodes

Conception physique
Pour étudier l'influence non-thermique des radiations de haute fréquence sur le comportement d'apprentissage des abeilles, il fallait stimuler ces insectes (resp. leur cerveau) de manière non-thermique (Stever & Kuhn, 2004). Pour ce faire, nous avons utiisé des bases d'appareils de téléphonie fixe sans fil DECT (Digital European Cordless Telecommunications: *télécommunications numériques sans fil européennes*). Ces stations émettent de façon continue un rayonnement électromagnétique de fréquence f_s=1900 MHz. Donc elles émettent aussi quand le téléphone sans fil est en panne ou non utilisé. La puissance moyenne de transmission P_s se monte à 10mW, la puissance maximale est de 250mW. Le signal émis est modulé en fréquence et pulsé avec une fréquence de 100Hz. La station a été installée au fond de la ruche, juste sous les rayons de miel (fig.1).
La station était placée à l'intérieur de la ruche, donc les abeilles pouvaient toucher l'antenne d'émission à tout instant.

Sujet et lieu d'étude
L'expérience a été réalisée sur les lieux du "DLR Fachzentrum für Bienen und Im-

kerei" (Centre d'études spécialisé sur les abeilles et l'apiculture) à Mayen, par des étudiants en Sciences de l'Environnement à l'Université de Coblence-Landau, Campus Landau.
Le sujet était l'étude du comportement des abeilles exposées et non-exposées (aux radiofréquences) en ce qui concernait leur capacité à retrouver leur ruche et à construire des rayons de miel.

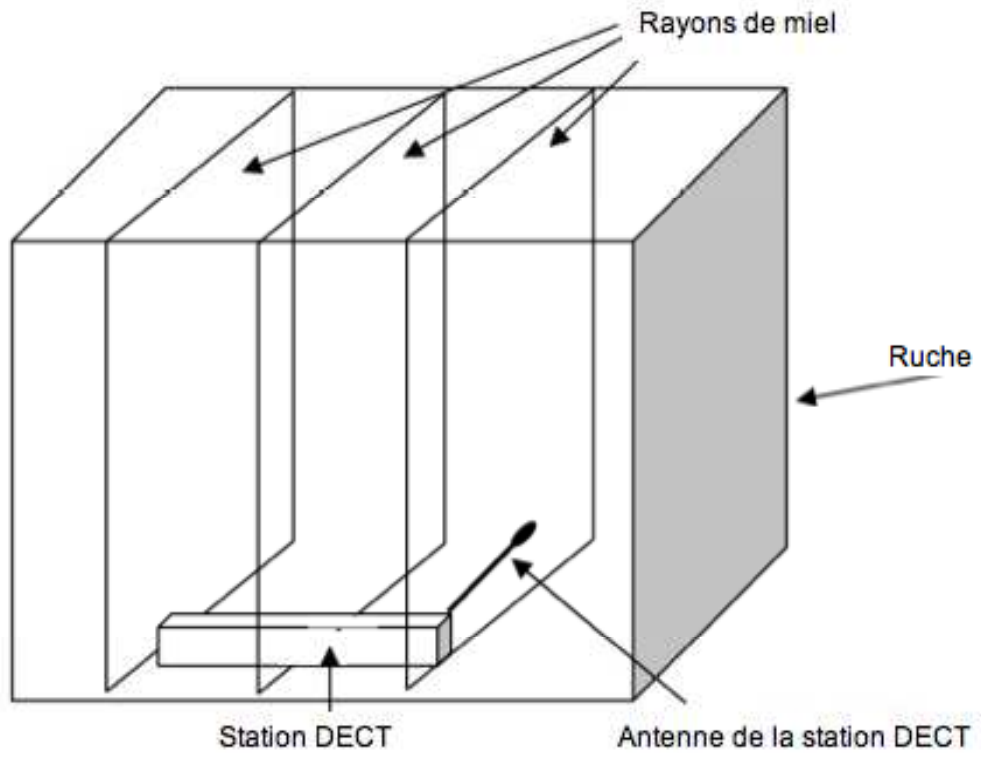

Fig. 1: Position de la station DECT à l'intérieur de la ruche

Procédure
Enregistrement visuel du comportement de retour à la ruche:
Pour étudier le comportement de retour à la ruche, huit mini-ruches—chacune avec une colonie d'environ 8000 individus— ont été installées sur une rangée. Un bloc de 4 colonies a été équipé de stations DECT au fond de la ruche. À l'entrée de chaque ruche, un tube de plastique transparent de 10cm de long et 4cm de diamètre a été posé pour recueillir les abeilles individuellement et observer ensuite leur entrée dans la ruche. Au début de chaque séquence de l'étude, 25 abeilles d'une colonie ont été recueillies dans leur tube, anesthésiées dans une boîte réfrigérante et marquées d'un point rouge sur le thorax. À une distance d'environ 800m de la ruche, toutes les abeilles marquées ont été lâchées simultanément et chronométrées. Les abeilles retournées à la ruche ont été interceptées à l'entrée de la ruche, et leur temps de retour noté. L'observation a duré 45 minutes, les abeilles retournées à la ruche après ce laps de temps n'ont pas été prises en compte. Dans chaque séquence d'étude, les groupes d'abeilles exposées et non-exposées (aux radiofréquences) ont été appariés et observés simultanément.

Comportement de construction des rayons de miel:
Pour l'étude de ce comportement, deux variables ont été examinées:

l'évolution de la surface des rayons de miel, qui a été documentée par des photographies, et le développement du poids des rayons de miel. Seize mini-colonies, huit adjacentes hébergeant des stations DECT, ont été alignées sur une rangée. Au début de l'expérience, les cadres vides des rayons de miel ont été pesés, puis les ruches ont été remplies avec des abeilles (400g) et 250ml de nourriture. Les abeilles ont été nourries encore deux fois au cours de l'expérience. Le recto et le verso des cadres à rayons de miel ont été photographiés chaque jour à la même heure, et les cadres pesés.

Autres données:

Pour enregistrer automatiquement le comportement de retour des abeilles, quatre ruches standard, dont deux hébergeant des stations DECT, ont été équipées d'unités détectrices d'abeilles. Mais en raison de problèmes techniques et d'incomplétude des informations recueillies, ces données n'ont pu être prises en compte. Les données météorologiques collectées étaient incomplètes aussi.

Résultats

En raison du caractère exploratoire de cette étude, nous nous abstiendrons d'une analyse statistique différenciée, mais les différences exemplaires les plus évidentes entre les colonies exposées et non-exposées (aux radiofréquences) seront représentées graphiquement.

Le développement de la surface et du poids des rayons de miel sera comparé par les moyennes des colonies exposées et non-exposées, et montré dans deux diagrammes également.

Les deux premiers diagrammes (Fig. 2 et 3) montrent la distribution du poids moyen total des rayons de miel respectifs de chaque groupe étudié. Au cours de l'expérience, trois colonies exposées et une colonie non-exposée se sont effondrées. Pour calculer le poids moyen des rayons de miel de toutes les colonies, les poids ont été arrêtés à la date de l'effondrement.

Alors que les poids des rayons de miel étaient comparables au début de l'expérience, le poids moyen total des rayons de miel construits par les abeilles non-exposées atteignait 1326g, tandis que celui des rayons construits par les abeilles exposées aux radiofréquences était de 1045g. La différence de 281g correspond à une diminution de 21,2% par rapport au poids produit par les abeilles non exposées.

Fig.2: Poids des rayons de miel des abeilles non-exposées

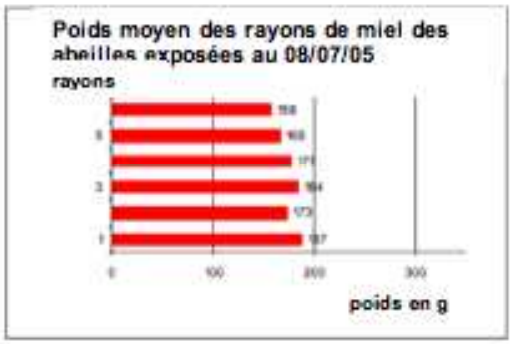

Fig.3: Poids des rayons de miel des abeilles exposées

Les figures 4 et 5 montrent la progression des poids et surfaces des rayons de miel au cours de l'expérience. Juste après l'instant de l'effondrement, les données des colonies effondrées ont été considérées comme constantes. Les surfaces des rayons de miel ne pouvant être mesurées directement, les photographies ont été analysées

avec l'outil graphique "ImageJ" (Rasband, 2005). Avec ce logiciel les surfaces des rayons de miel ont pu être marquée en cadrant les sections sur les photos. Ensuite, la moyenne entre le recto et le verso a pu être calculée pour minimiser les erreurs sur la détermination des surfaces.
Au cours du processus de l'expérience, il est apparu clairement que tant le poids que la surface des rayons de miel produits par les abeilles non-exposées se développaient mieux. Bien que ceci doive être interprété en termes de tendance ou trend, un test d'hypothèse U-Mann-Whitney, effectué à des fins descriptives, n'a jamais montré de différence (au seuil de 5%) entre les colonies exposées et non-exposées.
Les figures 6 à 9 dépeignent le comportement de retour à la ruche lors d'une séquence spécifique de l'expérience, le 07/07/2005, entre 12h10 et 12h55.
Toues les abeilles observées l'étaient dans les mêmes conditions météorologiques. Ces chiffres montrent que la quantité d'abeilles non-exposées aux radiofréquences revenues à la ruche dépasse celle des abeilles exposées, et que le temps de retour des rares abeilles exposées revenues à la ruche était significativement plus long.

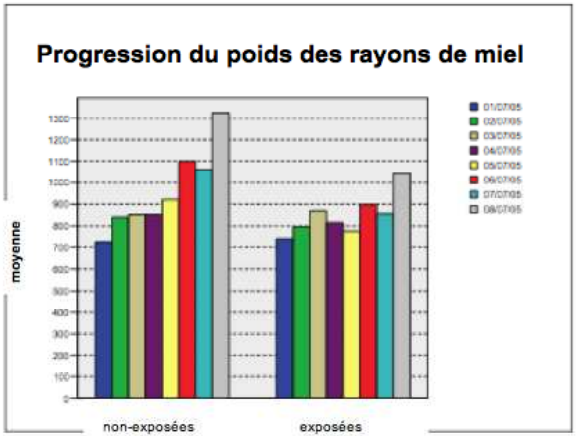

Fig.4: Poids des rayons de miel

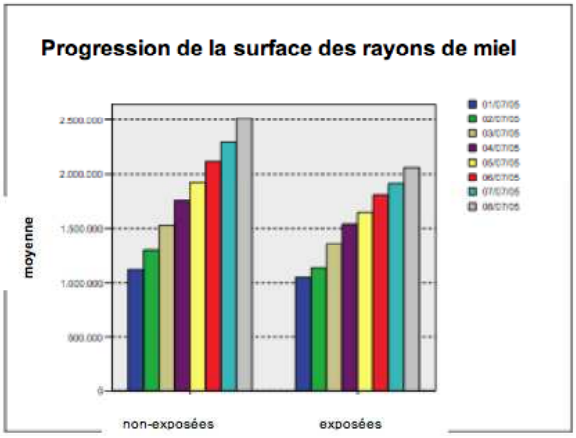

Fig.5: Surface des rayons de miel

Cette observation a été faite durant la séquence de l'expérience où un maximum d'abeilles des deux catégories étaient revenues à leur ruche. À aucun moment de l'expérience on n'a comptabilisé plus de six abeilles exposées aux radiofréquences revenues à la ruche dans les 45 minutes de leur lâcher, plusieurs fois il n'en est revenue aucune, alors qu'à chaque séquence de l'expérience on a observé des retours d'abeilles non-exposées. Donc ici la séquence décrite montre le cas le plus favorable pour les abeilles exposées.

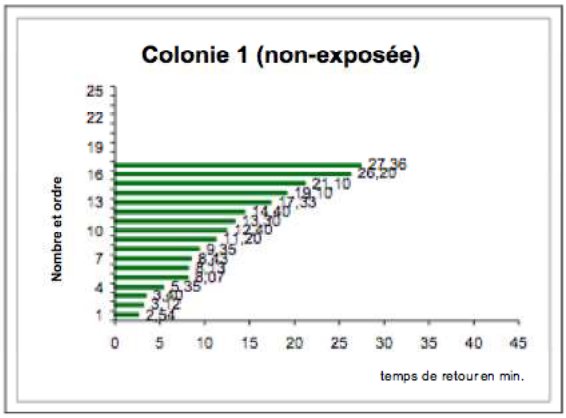

Fig.6: Temps de retour, Colonie 1

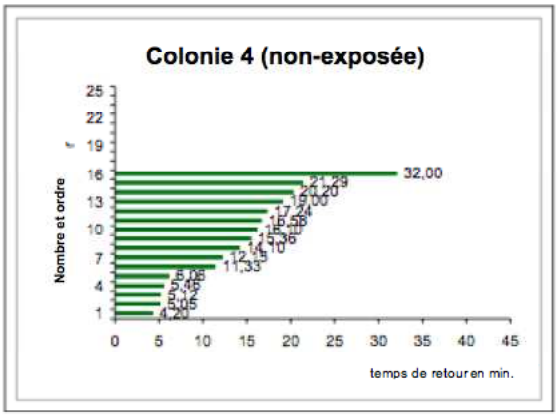

Fig.7: Temps de retour, Colonie 4

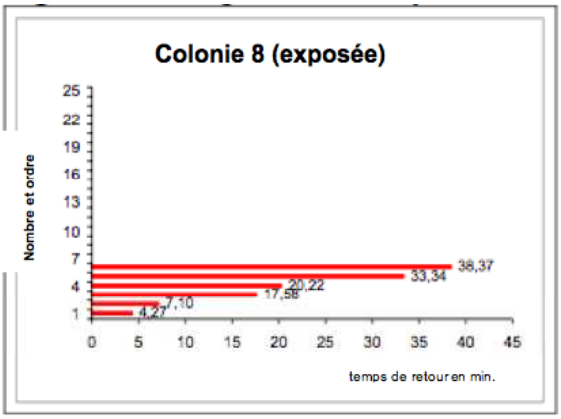

Fig.8:Temps de retour, colonie 8

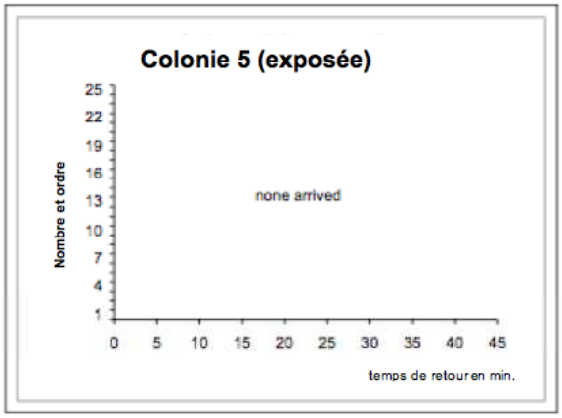

Fig.9: Temps de retour, colonie 5

Perspectives

La conception physique de cette expérience pourrait être modifiée de différentes manières en ce qui concerne la puissance et la fréquence utilisées. C'est pourquoi la plupart des domaines de fréquence et de puissance de la vie courante devraient être intéressantes. Donc les modifications physiques suivantes sont envisageables:

1. Augmentation de la puissance:
   Dans une hypothèse du pire, la station DECT devrait fonctionner de manière active, avecune puissance d'émission maximale.
2. Modification de fréquence:
   Outre les téléphones sans fil DECT, qui sont principalement utilisés à l'intérieur des bâtiments, d'autres téléphones mobiles pourraient être utilisés. Par exemple les mobiles GSM envoient leur information avec des fréquences d'émission de 900 et 1800 MHz ainsi qu'avec une fréquence de pulsation de 217Hz.
   Donc les téléphones GSM diffèrent des DECT par leur caractéristiques physiques, et peuvent être utilisés autant à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments. Parce que la technologie GSM fonctionne avec un ajustement de puissance dépendant de la distance entre le mobile et la station émettrice, il faudrait effectuer les mesures avec le téléphone en usage et dans les plus mauvaise conditions de réception pour une analyse de l'hypothèse du pire.

Des modifications supplémentairess pourraient être effectuées en ce qui concerne l'emplacement des ruches et les périodes d'exposition. Pour réduire l'effet de localisation, les ruches exposées et ruches de contrôle devraient être alternées. En outre le temps de l'exposition et de l'étude des comportements des abeiles pourrait

être modifié ou étendu. Ceci, dans le but de pouvoir observer les différents stades de développement des abeilles (pas uniquement le stade adulte) et l'influence de l'exposition aux radiofréquences à chaque stade.

Références

[1] Faber, T. & Menzel, R. (2001); Visualizing mushroom body response to a conditioned odor in honeybees; Naturwissenschaften, Vol. 88 (pp. 472-476).

[2] Menzel, R. (1993); Associative learning in honey bees; Apidologie, Vol. 24, No. 3 (pp. 157- 168)

[3] Rasband, W. (2005); ImageJ; http://rsb.info.nih.gov/ij/index.html [2006-04-25]

[4] Stever, H. (2002); Theorie der Superzeichen im Rahmen der Bildungsinformatik. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft (grkg), Vol. 43 (pp.9-15)

[5] Stever, H. & Kuhn, J. (2004); How Electromagnetic Exposure Can Influence Learning Processes – Modelling Effects of Electromagnetic Exposure on Learning Processes; IIAS-Transactions on Systems Research and Cybernetics: International journal of the International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics, Vol. IV, No. 1 (pp. 1- 10).

[6] Withers, G. S., Fahrbach, S. E. & Robinson, G. E. (1993); Selective neuroanatomical plasticity and division of labour in the Honeybee; Nature, Vol. 364 (pp. 238-240)

Traduction Brigitte Duault