

Modifications du comportement des abeilles sous l'effet d'exposition électromagnétique

Etude pilote 2005

**par Hermann Stever, Jochen Kuhn, Christoph Otten,
Bernd Wunder, Wolfgang Harst**

Groupe de Travail en Informatique Educative

[agbi]

**Institut de Mathématiques
Université de Koblenz-Landau**

Table des matières :

Résumé.....	3
Introduction.....	3
Bases physiques de la théorie de l'information	
<i>Un modèle formel d'action de l'informatique l'éducative</i>	4
<i>Variantes du modèle</i>	5
Description détaillée des aspects techniques physiques de la recherche	8
Bases physiques.....	8
<i>Effets thermiques</i>	9
<i>Effets non thermiques</i>	10
Les abeilles comme bio-indicateur d'effets non thermiques.....	11
Description de la recherche.....	13
Enregistrement automatique du comportement concernant le retour à la Ruche.....	14
Enregistrement manuel du comportement concernant le retour à la ruche.	14
Comportement concernant les constructions.....	15
Présentation des résultats de l'étude	16
Aperçu des possibilités futures de variantes dans les recherches	18
Références bibliographiques	19
Présentation des auteurs	20

Résumé :

Cette étude pilote concerne les modifications de comportement d'abeilles exposées à des champs électromagnétiques. Après présentation de modèles informationnels d'éducation et des bases physiques-techniques les sous-tendant, l'élaboration de chaque plan de recherches y sera décrite.

Plusieurs colonies d'abeilles *Apis mellifera carnica* ont été continuellement exposées à des stations de base de téléphones sans fil DECT. Des colonies semblables ont été observées comme groupes témoins aux mêmes endroits. Pour les deux groupes, les paramètres suivants ont été pris en considération: superficie bâtie, poids des cadres et comportement de retour à la ruche.

Etant donné les caractéristiques d'une étude pilote, certains résultats sont présentés à titre d'exemples; en l'occurrence les comportements de retour à la ruche indiquent la nécessité d'une recherche plus approfondie. Finalement, d'autres objectifs de recherches et d'autres plans de recherches possibles sont présentés.

Introduction :

Les médias modernes et leur engagement dans les procédés d'enseignements sont des champs propices à la mise en oeuvre de recherche éducative informationnelle [Stever, 1996]. Ces activités suscitent un débat public concernant les effets secondaires possibles de ces médias, par exemple à propos des champs électromagnétiques et de leurs effets secondaires sur les structures du cerveau humain (mot percutant : electrosmog!). Bien qu'au cours de ces dernières années, des études scientifiques de plus en plus nombreuses aient été mises en oeuvre, études dont certaines ont exploré l'action des rayonnements à hautes fréquences sur des organismes vivants et sur des cellules, des modèles adéquats d'action grâce auxquels les divers effets puissent être expliqués, font défaut. Ceci s'applique en particulier aux effets non thermiques, comme par exemple l'excitation par résonance d'organismes vivants.

Normalement, dans ce domaine, une expérimentation sur l'être humain est interdite. Il convient par conséquent, de repérer des bio-indicateurs adaptés et d'après ceux-ci, de développer des modèles démonstratifs de l'action des champs électromagnétiques à hautes fréquences sur les êtres humains, et en particulier sur les structures du cerveau.

Comme cela a déjà été réalisé sous le thème "*Théorie des super-signaux dans le cadre de l'éducation informationnelle*" [Stever, 2002], depuis 1993, des résultats de recherches ont montré que les changements d'activité des abeilles s'accompagnent de modifications dans des régions cérébrales déterminées, et en particulier dans ce que l'on désigne par les corps-champignons [Withers et al., 1993].

Il en découle que, selon Menzel [Menzel, 1993], la structure cérébrale associative des abeilles est très semblable à celle de l'humain. La mémoire des abeilles suit des phases séquentielles, lesquelles se différencient en ce qui concerne leur sensibilité aux perturbations et la participation de différentes régions du cerveau.

En résumé, ces résultats montrent que les abeilles (*Apis mellifera*) sont très bien indiquées pour des études permettant l'explication des fondements neurologiques de l'apprentissage et de la mémoire. Ainsi, les colonies d'abeilles nous offrent une hypothèse adaptée à l'élaboration d'un indicateur biologique pour la recherche concernant l'action des champs électromagnétiques à hautes fréquences sur les êtres humains. De plus, les dimensions du corps des abeilles se situent dans le domaine de l'excitabilité par les fréquences de la téléphonie mobile.

On pourra réussir dans la suite, à partir des observations correspondantes, à développer des modèles adéquats d'explication guidés par la théorie, de l'action des champs électromagnétiques à hautes fréquences sur les humains.

Bases physiques de la théorie de l'information

Un modèle formel d'action de l'informatique éducative

Un point fort de la recherche entreprise par le groupe de travail d'éducation informationnelle de l'Université de Landau réside dans l'analyse des actions synergiques des systèmes scientifiques de base et des experts humains du développement de recherches sur la solution de problèmes à l'aide de computers dans des sciences particulières sélectionnées. Le but est l'organisation optimale des sections délimitées entre la science basée sur les règles de l'intelligence technique établie et l'intelligence humaine avec ses aptitudes associatives. Ceci est, comme on le sait, particulièrement caractéristique de l'intuition spontanée et du franchissement des espaces de perceptions conscientes. La discussion concernant les questions de mesurabilité ou d'évaluation de l'information est un "feu persistant" dans chaque recherche orientée sur l'information et particulièrement sur l'éducation informationnelle.

On trouve, dans le développement historique, au centre de la théorie mathématique de l'information, l'aspect technique des communications avec minimisation des pertes, lors des processus de transmission des informations. Il y aura toujours un "prix à payer" pour l'identification d'un signal transmis, lequel prix sera lié à la dimension de l'information. Par contre, l'aspect sémantique devant être considéré comme une grandeur subjective à déterminer dans l'information et permettant les différenciations adéquates n'a jusqu'ici été que peu développé formellement, bien que, au vu de la propagation croissante des systèmes sous-tendant les différenciations, cet aspect revêt une nécessité actuelle. Dans ces systèmes, des représentations d'états de faits élémentaires et de circonstances – régies selon des règles logiques et des critères spéciaux – ont été mises à contribution dans la découverte de la différenciation par les utilisateurs des systèmes, en vue de traiter des informations complexes. Dans cette relation, il est possible de considérer avec Ganzhorn que "*l'information soit interprétée comme une grandeur subjective, notamment comme un accroissement du savoir d'une personne*" [Ganzhorn, 1986].

Dans un travail antérieur, [Stever, 2002], nous avons déduit, en plus des relations qualitatives et structurelles de cette conception de l'information, une mesure élaborée de manière appropriée, de l'information.

Nous avançons dans la suite, dans une hypothèse supplémentaire, vers une théorie élargie de l'éducation par des super-signaux:

Etant donné une quantité non vide W de présentations d'éléments de connaissance.

N_n désigne la partie du début des nombres naturels N . Si

$$F(W) = \bigcup_{n \in N} \{f : N_n \rightarrow W\}$$

la quantité de toutes les successions de jonctions avec des éléments désignés par W , alors nous pouvons indiquer, selon le processus récurrent de l'éducation par super-signaux

$$\begin{aligned} F^0(W) &= W \\ F^n(W) &= F(F^{n-1}(W)) \end{aligned}$$

définir une hiérarchie de savoir $w(W) = \bigcup_{i=0}^n F^i(W)$

Les détails pour l'élaboration et pour la mesure induite de l'information subjective de l'élément de la hiérarchie du savoir sont développés dans le travail de Stever [Stever, 2002].

Il est facile de comprendre qu'en liaison avec l'élaboration récurrente d'une hiérarchie de connaissances, il faut considérer la prise en compte personnelle de ces processus.

L'acquisition des connaissances sera perçue formellement comme un processus dynamique, qui peut se décrire comme appartenant soit à un domaine stable soit à un domaine chaotique. La "créativité" correspond au "chaos", dans le sens que nous ne pouvons pas la décrire, comme des prévisions à conclure sur de longues périodes de temps. Par contre, "des apprentissages sont descriptibles par des algorithmes" dans des domaines stables.

En vue de ce projet, la théorie des super-signaux, telle qu'elle a été présentée ci-dessus et particulièrement la modification de répertoire qui y est impliquée, a été largement développée dans ce sens, étant donné que la possibilité de l'influence physique du milieu externe sur le processus de l'éducation par super-signaux doit être comprise dans l'adoption du modèle.

Variantes du modèle

Selon l'acceptation générale de la théorie de l'apprentissage basée sur la cybernétique, les apprentissages abstraits sont définis comme la construction d'un modèle interne. Un état de choses à savoir, à connaître ou à comprendre signifie donc qu'un sujet en cours d'apprentissage a élaboré un modèle interne de cet état de choses. Le savoir prend d'autre part naissance selon les mêmes dispositions fondamentales, à partir du traitement des informations de la manière décrite, dans des processus supérieurs. Les théories développées actuellement sur l'activité de réseaux neuronaux artificiels (comme modèle du cerveau) permettent sommairement la compréhension d'une représentation interne de la structure de la connaissance qui est en contradiction avec les réalités physiologiques du cerveau.

Pour insérer cette présentation dans le cadre de notre déduction formelle, il est nécessaire d'élargir le concept défini ci-dessus, de la hiérarchie des connaissances vers une présentation adéquate de la structure des connaissances :

$$W(W) = \bigcup_{i=0}^n F^i(W)$$

Nous supposons de nouveau que la connaissance à apprendre à partir d'une quantité W finale non vide d'éléments de connaissances (par exemple une présentation de celle-ci) existe, et qu'entre les éléments de cette quantité, certaines relations existent. Ces relations peuvent par exemple, être en dépendance par logique de circonstances ou syntactique, de l'élément de structure. De telles dépendances sont généralement présentées comme des relations ou des morphismes.

Dans la suite, nous indiquons la quantité d'éléments de connaissance

$W = \{w_i \mid i \in I\}$ pour une quantité finale non vide d'indice I . On poursuit pour $i_1 \in I$ et $i_2 \in I$, les éléments w_{i_1} et w_{i_2} quelconques à partir de W , et on obtient:

$$W \rightarrow W$$

$$M_{i_1, i_2} = M(w_{i_1, i_2}) = \left\{ \mid m_{i_1, i_2} : \left\{ w_{i_1} \rightarrow w_{i_2} = m_{i_1, i_2}(w_{i_1}) \right\} \right\}$$

(éventuellement vide) qui indiquent la quantité de morphisme de W à W , laquelle montre la dépendance entre les éléments de connaissances w_{i_1} et w_{i_2} .

Il existe ainsi une "représentation de la structure des connaissances" dans laquelle toutes les morphismes possibles entre les éléments de W , s'ajoutent à la quantité.

$$M(W) = \bigcup_{i, j \in I} M(w_i, w_j)$$

Une représentation, appréhendée comme l'élaboration d'un modèle interne des états de choses, peut également s'indiquer avec la formation de concepts donnés ici comme une paire $(W, M(W))$ et s'interpréter comme un graphique de la structure des connaissances.

L'élaboration d'une hiérarchie des connaissances et une évaluation de l'information subjective sont en analogie et un transfert judicieux de la manière présentée ci-dessus est possible. De toute façon, ainsi, la possibilité d'une influence physique du milieu extérieur sur les processus de l'élaboration des super-signaux dans l'acceptation du modèle n'est pas encore acquise. Ceci peut être obtenu grâce à l'acceptation complémentaire résidant dans le fait que les influences physiques des processus de supériorisation peuvent changer. Cela veut donc dire qu'il faut intégrer un paramètre supplémentaire dans l'expression mathématique des processus de supériorisation.

La quantité de toutes les suites d'enchaînements finaux des éléments à partir de W

$$F(W) = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} \{f : N_n \rightarrow W\}$$

doit être remplacée par une quantité de toutes les voies finales, via le graphique de la structure des connaissances

$$F_p(M(W)) = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} \{f_p : N_n \rightarrow (\Pi, W, M(W))\},$$

dans lequel Π est une quantité d'influences physiques possibles. Pour chaque valeur fixe $p \in \Pi$, on a ainsi la représentation optimale des éléments de connaissances pour l'élaboration esquissée ci-dessus, formulée de façon analogue et également ainsi un modèle interne pour établir un état de choses. Les paramètres $p \in \Pi$ importants dans la recherche empirique de ce projet sont déterminés dans les sections suivantes. Une évaluation des informations subjectives se fait via le répertoire des quantités des voies possibles. Pour $n \in \mathbb{N}$ donné, les voies de longueur $(n-1)$ jusqu'à 1 dans le graphique, dans le cas présent, sont prises en considération sur les graphiques partiels correspondants.

Pour une évaluation de ce modèle, le but de la mise en œuvre de ce projet était de rechercher si l'influence physique des processus de supériorisation se modifie d'elle-même. Les paramètres possibles $p \in \Pi$ interviennent dans la manière dont les influences physiques des processus de supériorisation sont perceptibles.

Comme cela a déjà été esquissé ci-dessus, d'autres recherches concernant les processus d'apprentissage chez les abeilles doivent servir à évaluer un bio-indicateur possible concernant l'interprétation expérimentale – physique du modèle de ce projet. Selon notre modèle, l'activité des abeilles est évaluée en fonction de leur connaissance de l'environnement. A partir de cela, nous admettons que la manière décrite s'oppose au processus de supériorisation dans l'utilisation de l'information. Comme cela a déjà été présenté dans l'introduction, cette compréhension confortée par les résultats de recherches neurobiologiques, lesquelles laissent entendre que le changement d'activité des abeilles s'accompagne de modifications dans des régions définies du cerveau, et en particulier de celles appelées "*corps champignons*" [Withers et al., 1993; Faber & Menzel, 2001]. Nous voulons considérer ceci à titre de représentation d'un modèle interne d'une fraction de l'environnement comme donnée du processus d'apprentissage des abeilles.

Dans le contexte de notre exploration, on conçoit donc que les colonies d'abeilles sont observées dans leur comportement, lorsqu'elles sont soumises à diverses expositions électromagnétiques. On a pu explorer des activités de rayonnements à des niveaux thermiques comme athermiques, pour lesquels aucun mécanisme d'action n'est encore connu. Une étude

exploratoire antérieure concernant l'activité de champs électromagnétiques à basses et à hautes fréquences sur des colonies d'abeilles a fourni à ce sujet les premières observations et des enseignements [Kuhn & Stever, 2002]. Ces recherches peuvent être interprétées dans la signification de la représentation de variante du modèle d'une "théorie élargie des supersignaux".

Pour autant que les dimensions du corps des abeilles se situent dans la longueur permettant l'excitation de résonance des longueurs d'onde de téléphonie mobile (longueur d'antenne), les colonies d'abeilles sont, selon cette théorie élargie des supersignaux, une présentation adaptée à l'hypothèse de l'élaboration d'un bio-indicateur dans les recherches concernant les activités des expositions électromagnétiques sur les humains. Ceci est valable en tout cas, pour autant que la totalité de la présentation des connaissances ou des structures des connaissances soit un modèle interne d'une fraction de l'environnement. Ces manières de formuler vont bien au delà de l'estimation initiale de la théorie des supersignaux. Elles recouvrent en même temps un champ central de recherches marqué par cette théorie, lequel explore la dimension transversale de l'informatique éducative, nettement mise en évidence et donnent ainsi une position actuelle de résultats orientés du problème

Description détaillée des aspects techniques-physiques de la recherche concernant l'influence de l'exposition électromagnétique sur le comportement des abeilles :

Au cours des dernières décennies, les diverses actions de notre environnement technicisé sur les organismes vivants ont de plus en plus préoccupé les opinions publiques. Il devient clair que le développement des techniques de pointe, à côté de bien des aspects positifs, induit également des conséquences négatives – voire même des nuisances pour la santé. A côté des dangers toxicologiques de différents produits, on débat également par exemple des nuisances dues aux radiations radioactives ionisantes et d'indices de risques pour la santé dus à l'activité de radiations non ionisantes. Ce dernier phénomène est également désigné par "electrosmog".

Dans ce domaine, il est de toute urgence nécessaire de distinguer champs électriques et magnétiques à basses fréquences, des champs électromagnétiques à hautes fréquences, étant donné que les différents "types" de champs manifestent des propriétés différentes, et de ce fait agissent également de manière totalement différente sur les êtres vivants. A basses fréquences, dans le domaine des champs électriques et magnétiques alternatifs, leurs actions sur les organismes vivants peuvent être considérées comme séparées l'une de l'autre. Les champs à hautes fréquences sont à considérer ensemble comme un champ électromagnétique. De plus, dans le cas des hautes fréquences, l'influence sur les êtres vivants des champs thermiques doit être distinguée de celle des champs non thermiques.

Alors que dans le cas de l'influence des basses fréquences ainsi que des effets thermiques du domaine des hautes fréquences des recherches importantes ont déjà été accomplies sur les abeilles [Kuhn & Stever, 1999a; Kuhn & Stever, 1999b; Kuhn, 2002], de telles études concernant le domaine des effets non thermiques manquent. C'est pourquoi, dans la présente recherche, nous nous concentrons principalement sur les excitations par résonances comme activités possibles sur les êtres vivants des rayonnements électromagnétiques à des niveaux non thermiques.

Bases physiques

Les champs électromagnétiques se propagent dans le temps et l'espace de manière périodique. Ils atteignent les organismes vivants et y exercent des activités sur le plan moléculaire, étant donné que dans les tissus et les cellules se trouvent des particules chargées. Ces particules captent l'énergie électromagnétique dans les champs électromagnétiques et transforment cette énergie en énergie cinétique (énergie de mouvement). Dans leur mouvement, les particules chargées s'entrechoquent avec d'autres particules présentes dans leur environnement et ainsi, une transmission d'impulsions a lieu dans les organismes vivants. Par le mouvement des particules et par les transmissions d'impulsions qui en résultent, l'énergie de mouvement des particules se transforme en énergie chaleur en raison des processus de frottements de celles-ci entre elles.

Ce processus dépend aussi bien de la fréquence f du champ électromagnétique qui excite l'organisme que des propriétés électriques de l'organisme lui-même. Les propriétés électriques d'un tissu vivant sont déterminées entre autres, dans ce cas, par sa conductivité électrique spécifique κ et par sa constante diélectrique ϵ . Ces paramètres dépendent eux-mêmes de la fréquence du champ électromagnétique. Alors que la conductivité électrique augmente lorsque la fréquence s'accroît, la constante diélectrique se comporte de manière inverse : elle diminue lorsque la fréquence s'accroît. La dépendance entre la fréquence du champ électromagnétique et la conductivité électrique spécifique du tissu biologique et sa constante diélectrique, respectivement est dénommée relaxation. Le phénomène peut le mieux s'expliquer par l'échange d'énergie entre le champ électromagnétique et les molécules polaires

de l'eau, c'est-à-dire par la structure en dipôles de l'eau. Les dipôles tournent sous l'influence du champ électrique alternatif périodique constant, auquel ils s'orientent en fonction de la fréquence $f = 1 \text{ GHz}$ de la direction et de l'intensité du champ (voir fig. 1). On peut déterminer l'intensité du champ par l'angle selon lequel l'axe d'orientation du dipôle suit la fréquence. Par ce processus, l'énergie des dipôles est prélevée sur le champ électromagnétique. Lorsque la direction du champ s'inverse, les dipôles s'orientent en sens opposé. L'énergie prélevée dans le champ électromagnétique est ainsi convertie en énergie de mouvement (énergie cinétique). Dans ce processus, suite aux frottements, apparaît l'énergie chaleur. Le temps caractéristique de ces processus s'appelle temps de relaxation τ . Il prend pour de grosses molécules (p.ex. les protéines) environ une microseconde; pour de petites molécules (p.ex. l'eau) moins d'une nanoseconde.

Cette transformation d'énergie électromagnétique en énergie chaleur est très efficace, lorsque la direction du champ s'inverse après que le dipôle ait atteint son orientation maximale. Ainsi, la fréquence de relaxation optimale pour des champs alternatifs s'exprime comme suit:

$$f_{\tau} = 1 / \tau$$

τ étant la période c'est-à-dire la durée complète d'une rotation

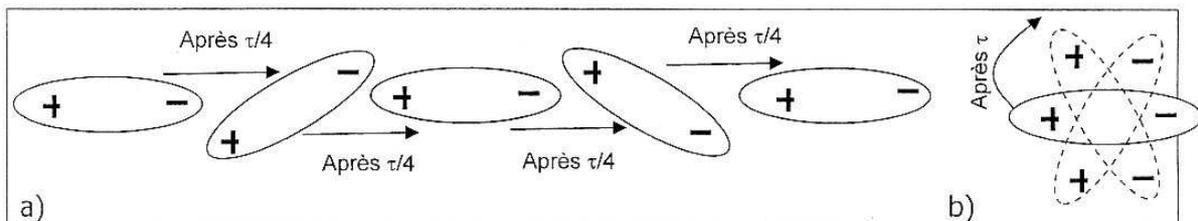


Figure 1: Le processus de relaxation a) dipôles ayant différentes positions
b) le processus complet en une seule image.

La fréquence de relaxation de molécules de protéines en solution aqueuse se situe entre 1 MHz et plusieurs GHz. Pour des fréquences plus élevées, le degré d'orientation des dipôles diminue. Cette fonction s'exprime par les équations de Debye:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\infty}}{1 + \left(\frac{f}{f_{\tau}}\right)^2}$$

$$\kappa = \kappa_0 + \frac{(\kappa_{\infty} - \kappa_0) \cdot \left(\frac{f}{f_{\tau}}\right)^2}{1 + \left(\frac{f}{f_{\tau}}\right)^2}$$

Effets thermiques

L'effet thermique peut s'expliquer de la manière la plus simple par un effet physique. Cet effet décrit la transformation d'énergie électromagnétique en énergie chaleur. Cette énergie chaleur est provoquée par la relaxation de la rotation des dipôles moléculaires. Dans ce cas, l'intensité du champ est suffisamment élevée pour produire une orientation maximale des dipôles. Les dipôles suscitent alors une chaleur de frottements, dès que leur orientation est inversée par l'alternance du champ électromagnétique. Cet effet dépend de beaucoup de

facteurs, par exemple, de la fréquence du champ, de l'intensité du champ, de la masse du corps, de la structure du corps et de la durée de l'action.

Effets non thermiques

Il est incontestable que les champs électromagnétiques à hautes fréquences peuvent provoquer des phénomènes qui ne peuvent s'expliquer par des effets thermiques. C'est pour cela que des débats sont en cours quant au fait que des effets non thermiques de rayonnements de hautes fréquences ne puissent exister, et mais bien plus la question est de savoir dans quelles conditions ces effets biologiques pourraient être importants.

D'un point de vue physique, il saute aux yeux que seuls, les effets des hautes fréquences en discussion, sont ceux qui ne couvrent pas le bruit de fond thermique. L'énergie du bruit de fond thermique s'élève à environ 25 milli électronvolts (meV). Un effet avec de plus faibles énergies n'est pas enregistré par les tissus vivants. Mais cette énergie limite n'est valable que pour des tissus qui ne sont pas excités par résonance et uniquement pour des champs dont les fréquences ne sont pas dans la plage des fréquences de résonance des tissus biologiques. Si les tissus sont excitables par résonance, et si la fréquence du rayonnement se trouve dans la plage de fréquence de résonance de ces tissus, alors des effets biologiques peuvent être produits par ce champ électromagnétique à un niveau d'énergie bien inférieur à 25 meV. Ainsi, l'excitation par résonance présente une possibilité de manifestation d'effets non thermiques qui pourraient être éclaircis comme suit :

Lorsqu'un objet oscillant, un vibreur, un oscillateur, par exemple, une molécule de protéine déroulée est abandonnée à elle-même, il se produit des oscillations libres (oscillations propres). La fréquence des oscillations d'un résonateur ne dépend donc que de ses propriétés. Cette fréquence s'appelle la fréquence propre f_0 de l'objet capable d'entrer en résonance. Maintenant, lorsque le résonateur est excité grâce à un apport d'une source d'énergie externe, il en résulte des oscillations de cet objet excité. Des oscillations se produisent et sont entretenues par la fréquence f_E de l'élément provoquant l'excitation. Si la fréquence d'excitation se situe dans la plage de la fréquence propre du résonateur, ($f_E \approx F_0$), l'amplitude des oscillations du résonateur augmente et tend vers un maximum. Ce phénomène est appelé résonance. Dans le cas de la résonance, la fréquence de cette oscillation correspond aussi à la fréquence de résonance f_R , ainsi qu'à la fréquence d'excitation f_E de la source externe d'oscillations et à la fréquence propre f_0 du résonateur stimulé :

$$f_R \approx f_E \approx f_0$$

Grâce à cela, le tissu biologique absorbe la plus grande partie de l'énergie du champ électromagnétique, lorsque la fréquence du rayonnement électromagnétique correspond à la fréquence propre f_0 du tissu biologique. Cette fréquence propre dépend des dimensions et de la structure du tissu. Chaque longueur d'onde λ de rayonnement électromagnétique correspond à une fréquence f selon l'équation suivante :

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (C = \text{vitesse de la lumière} \approx 3.10^8 \text{ m / sec}) \quad (\text{I})$$

En simplifiant, nous pouvons expliquer la fréquence propre f_0 au moyen de la longueur d'une molécule dipolaire unidimensionnelle (voir fig. 2) La fréquence propre f_0 dépend de la longueur l du dipôle et peut se calculer grâce à l'équation (I):

$$f_0 = \frac{C}{l} \quad (\text{II})$$

Ainsi, se produit précisément le phénomène de résonance, lorsque la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique se situe dans l'ordre de grandeur des dimensions du tissu vivant.

Etant donné la complexité des tissus biologiques (dimensions multiples, molécules de diverses espèces etc.) la fréquence de résonance pourrait le cas échéant être la fréquence adéquate ou une fréquence qui ne serait seulement qu'imprécisément calculée, mais celle-ci doit être évaluée au mieux.

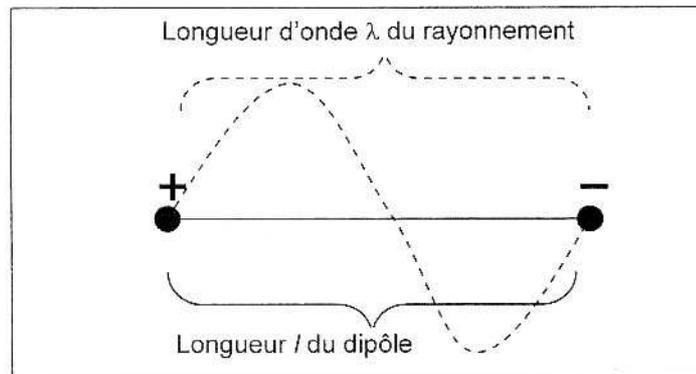


Fig. 2 : La longueur d'onde λ excite un dipôle unidimensionnel résonant.

Les abeilles comme bioindicateur d'effets non thermiques

La fonction des abeilles comme bioindicateur d'effets non thermiques a été expliquée en détails par Kuhn [Kuhn, 2002; Kuhn, 2003]. Dans cet article, nous voulons dire que les abeilles peuvent devenir des bioindicateurs d'effets non thermiques en ce qui concerne leurs processus d'apprentissage.

A l'aide de ces connaissances, il devrait être possible d'explorer les effets non thermiques des rayonnements de champs électromagnétiques à hautes fréquences sur les modifications de comportement des abeilles et de transférer les résultats sur le comportement des êtres humains. Ceci est concevable, car la structure du cerveau de l'abeille en ce qui concerne les processus d'apprentissage est semblable à celle du cerveau humain [Giurfa, 2003; Stever & Kuhn, 2003].

Les abeilles peuvent être influencées par trois types d'effets non thermiques:

1. Tout d'abord, le corps de l'abeille possède de lui-même une forme très définie. Ainsi, cette forme peut être stimulée par résonance, lorsque la longueur d'onde – donc la fréquence correspondante – se situe dans l'ordre de grandeur de la longueur du corps de l'abeille (voir figure 3a). Etant donné que la longueur du corps de l'abeille mesure environ 2 cm ($l \approx 0,02$ m), la fréquence de résonance f_0 doit se situer à environ 15 GHz (= 15000 MHz) (voir équation II). Ceci n'est cependant pas l'unique fréquence qui puisse exciter une résonance chez les abeilles. Etant donné que leur corps s'étire, elles peuvent être stimulées par une large bande de fréquences dont la longueur d'onde doit être déterminée expérimentalement.

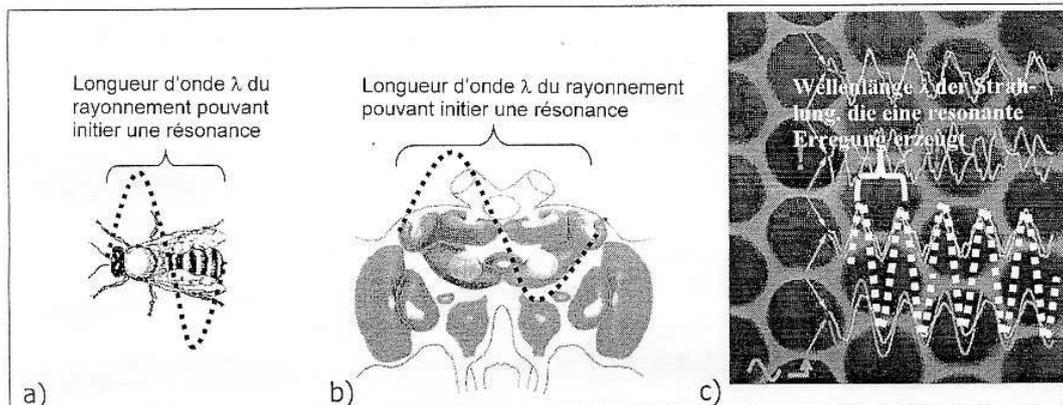


Fig. 3 : Possibilités de résonances chez une abeille

a. sur l'abeille entière ; b. sur les corps champignons du cerveau ⁽¹⁾; c sur les alvéoles⁽²⁾.

(1) Cette figure est issue du site internet www.neurobiologie.fu-berlin.de/mulan.html.

(2) Cette figure montrant l'excitation d'alvéoles via la danse des abeilles est extraite de "Bild der Wissenschaft online, Natur (03.12.2001).

2. A côté du corps global de l'abeille, on doit aussi prendre en considération les corps-champignons⁽³⁾ situés dans le cerveau de l'abeille, lesquels ont une forme extrêmement définie (voir fig. 4). Ils occupent des positions symétriques. Ensemble, ils couvrent une superficie d'environ $250 - 300 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$. La plus grande distance entre les deux points limites extrêmes des corps champignons est d'environ $800 \mu\text{m}$. Ainsi, les corps champignons peuvent également être excités par résonance (voir fig. 3b). Etant donné les dimensions très petites ($l \approx 800 \cdot 10^{-6} \text{ m}$), la fréquence de résonance est beaucoup plus élevée que celle du corps de l'abeille (voir équation II). Elle peut atteindre jusqu'à 375 GHz . Cette valeur est cependant très critique, étant donné que les dimensions du corps champignon sont multidimensionnelles. Etant donné cet aspect tridimensionnel, le calcul des fréquences de résonance devient plus complexe que pour un système unidimensionnel. Nous devons de plus tenir compte des propriétés électriques des corps champignons et de leur environnement. Ainsi, la fréquence de résonance f_R de ces objets doit être déterminée expérimentalement.

Suite à la complexité de leur comportement, il est possible que les corps champignons puissent avoir une résonance excitée par un rayonnement électromagnétique d'une fréquence d'environ 2 GHz . Ainsi, ce domaine de fréquences que l'on retrouve dans les systèmes téléphoniques actuels DECT, GSM, DCS, UMTS pourrait-il être concerné par les excitations non thermiques de résonance des corps champignons.

3. La troisième possibilité d'une excitation par résonance non thermique des abeilles se cristallise dans les résultats de recherches actuelles. En complément aux théories bien connues de Karl von Frisch, lesquelles théories décrivent la communication entre les abeilles par une danse ondulante [von Frisch, 1965], Nieh et Tautz indiquent que la danse ondulante met les alvéoles en oscillations [Nieh & Tautz, 2000; Nieh et al., 2001]. Les fréquences de ces vibrations se situent entre 200 Hz et 300 Hz . L'information des abeilles se transmet par la vibration des alvéoles et des abeilles se trouvant à une certaine distance l'une de l'autre émettent la vibration pouvant transmettre cette information. Etant donné que la technologie DECT de téléphonie sans fil transmet des signaux pulsés, nous devons également tenir compte des fréquences de $1880\text{-}1990 \text{ MHz}$ avec des signaux pulsés de 100 Hz .

(3) Des recherches neurobiologiques montrent que les modifications des activités des abeilles dépendent de modifications dans des zones déterminées de leur cerveau, et spécialement dans les zones appelées corps-champignons [Withers et al., 1993; Faber & Menzel, 2001]. A partir de là, nous pouvons présenter les corps champignons comme un modèle interne reflétant les résultats des processus d'apprentissage d'une abeille.

Ces fréquences pulsées se situent dans le domaine des fréquences de la danse ondulante des abeilles et ainsi, cette plage de fréquences est également émise par la danse ondulante des abeilles, laquelle peut donc être excitée par la résonance de cette fréquence pulsée (voir fig. 3c).

Dans une première étape, nous devons d'abord déterminer expérimentalement les fréquences de résonance f_R du corps de l'abeille (première possibilité décrite d'une excitation non thermique possible) et les fréquences de résonance des corps champignons dans le cerveau de l'abeille (deuxième possibilité décrite, d'une excitation non thermique). Ensuite, il faudrait exposer des abeilles à ces fréquences. Si ces rayonnements nuisent à la faculté d'apprentissage des abeilles⁽⁴⁾, il est également possible qu'il y ait une influence par résonance, de ces excitations non thermiques sur les facultés d'apprentissage des êtres humains.

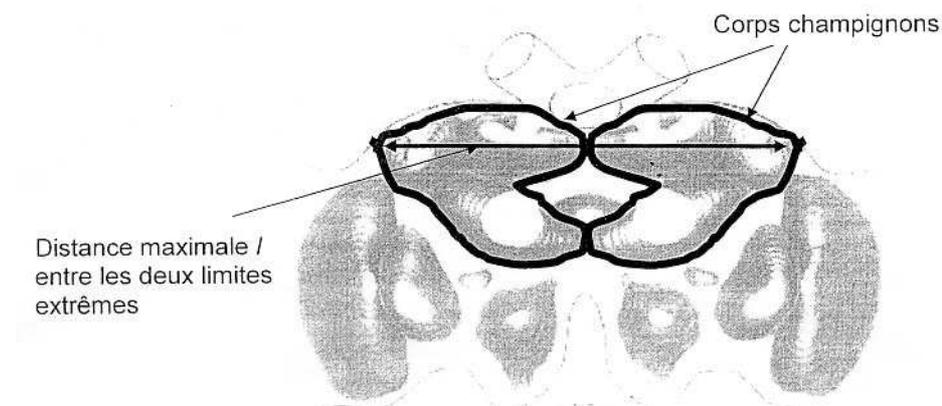


Fig. 4: Coupe d'un cerveau d'abeille (la zone en ligne grasse indique la délimitation des corps champignons).

Description de la recherche

La recherche programmée dans la présente étude concernant les effets non thermiques de champs électromagnétiques sur le comportement des abeilles nécessite l'exposition de ces insectes aux fréquences de résonances requises. Pour cela, nous avons utilisé des stations de base de téléphones sans fil DECT (Digital European Cordless Telecommunication). Une station de base de ce type émet continuellement une fréquence (f_s) de 1900 MHz et ainsi elle rayonne constamment des ondes électromagnétiques. L'intensité moyenne de l'émission P_s est de 10 mW et l'intensité en pointe atteint 250 mW. Le signal émis est modulé en fréquence et pulsé avec une fréquence d'impulsions f_p de 100 Hz. La station de base a été positionnée sur le plancher de la ruche, directement sous les cadres d'alvéoles et une connexion a été établie avec le téléphone à main. Etant donné que la station de base se trouvait à l'intérieur de la ruche, les abeilles pouvaient à tout moment toucher l'antenne. Grâce au cadre de ces conditions techniques, la possibilité d'explorer les excitations de résonances non thermiques décrites dans la première possibilité des Détails Physiques techniques décrits ci-avant page 12 était possible.

(3) Une diminution de la faculté d'apprentissage des abeilles est identifiable, lorsque, par exemple, elles ne trouvent pas la zone productrice de nourriture grâce à la danse ondulante, ainsi que lorsqu'elles "oublient" la direction indiquée et donc de ce fait, lorsqu'elles ne ramènent pas de nectar ni de pollen. Un autre précision concernant une altération de la faculté d'apprentissage réside dans le fait que le comportement bâtisseur des abeilles se modifie et on observe de ce fait une augmentation significative des "folles bâtisses".

(4) L'image de la coupe d'un cerveau d'abeille provient du site internet www.neurobiologie.fu-berlin.de/mutan.html.

Dans cette étude, les questions résultantes concernant les problèmes de difficultés de retour à la ruche et les comportements lors des constructions ont été observées.

La recherche a été effectuée sur le terrain du Centre de Recherches du Ministère Allemand de l'Agriculture sur les abeilles et l'apiculture à Mayen par des étudiants, dans le cadre du Cours des Sciences de l'Environnement à l'Université de Coblenze-Landau, département Landau. Le responsable du lieu était le Dr. Christoph Otten, qui a dirigé les étudiants de l'étude, sur le plan apicole, avec les maîtres apiculteurs Herr Krauss et Herr Wolters. En plus des données indiquées ci-dessous, des données climatiques ont été également relevées au cours de la recherche, mais certaines déficiences techniques n'ont pas été évaluées entièrement.

Enregistrement automatique du comportement concernant le retour à la ruche

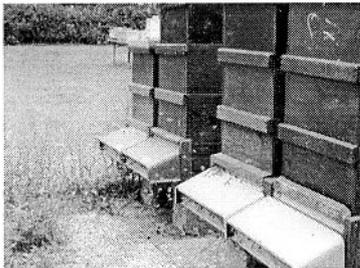


Fig. 5: Ruches équipées du BeeScan.

Quatre ruches de 30 000 à 40 000 *Apis mellifera carnica*, sur trois corps, ont été équipées chacune d'un appareil BeeScan, permettant d'enregistrer automatiquement l'entrée et la sortie des abeilles. Cet appareil est placé devant le trou de vol et enregistre sur 32 canaux grâce à un faisceau infrarouge, le mouvement des abeilles sans les gêner (fig. 6).

Les colonies sont situées sur une ligne, les trous de vol orientés au Sud. Les ruches à chacune des extrémités ont été munies le 27.06.2005 d'une station de base DECT posées sur le plancher de la ruche. La saisie des données a été quotidienne, jusqu'au matin du 8.07.2005.

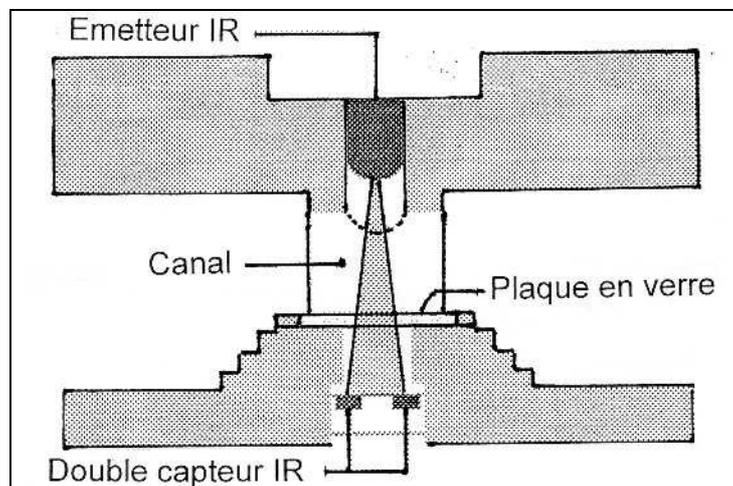


Fig. 6: Schéma de principe du BeeScan.

Enregistrement manuel du comportement concernant le retour à la ruche

Huit colonies disposées sur trois à quatre corps dans des ruches Mini-Plus ont été étudiées. Pour ce faire, quatre ruches ont été équipées d'une station de base DECT sur leur plancher. Les populations étaient toutes alignées au même endroit tournées dans une direction Est – Ouest. Les quatre ruches comprenant une station de base à l'Est, les autres à l'Ouest. Les trous de vol des ruches se trouvaient du côté Sud. Au nord des ruches à environ 2 m de distance, se trouvaient des massifs d'arbustes, lesquels ne donnaient pas d'ombre sur les installations des recherches.

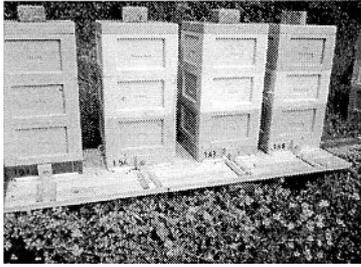


Fig. 7: Ruches préparées pour la recherche

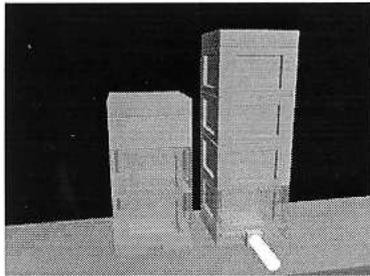


Fig. 8 ; Schéma des ruches Mini-Plus

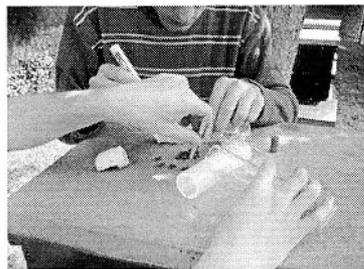


Fig. 9 Marquage des abeilles.

Aux trous de vol des ruches on avait fixé des tubes en plexiglas de 10 cm de longueur et de 4 cm de diamètre, grâce auxquels on pouvait intercepter des abeilles sortantes ou entrantes. Pour capturer des abeilles sortantes, l'extrémité externe du tube était bouchée par un film en polyéthylène souple de ménage. Lorsque suffisamment d'abeilles se trouvaient dans le tube, on fermait l'autre extrémité du tube au moyen d'une feuille de carton tout en enlevant le tube du trou de vol.

On remplaçait ensuite un nouveau tube. Le tube contenant les abeilles capturées était alors obturé par des bouchons. Pour chaque passage observé, on prélevait 25 abeilles irradiées et 25 abeilles non irradiées aux trous de vol. Les abeilles étaient alors placées dans un caisson réfrigéré équipé d'accumulateurs de froid, afin d'abaisser leur température. L'attribution à une colonie était alors rendue identifiable par un point de couleur (Edding 750) appliqué sur le thorax. Toutes les abeilles ainsi marquées étaient ensuite amenées à la sortie de la zone et libérées toutes en même temps.

La distance entre cet endroit et l'implantation des ruches se situait entre 750 et 800 m. à vol d'oiseau dans la direction sud-est. La route de vol passait au dessus d'une zone habitée avec des maisons unifamiliales et des jardins. La durée du parcours était mesurée à partir de l'instant de libération des abeilles. Ensuite on a capturé les abeilles marquées entrantes et on a noté leur temps de vol. Les abeilles capturées étaient retirées du système. Le temps maximal par passage était de 45 minutes. Les abeilles qui n'étaient pas revenues après ce laps de temps n'étaient plus prises en compte. Selon les possibilités, plusieurs parcours ont été accomplis en même temps.

Comportement concernant les constructions

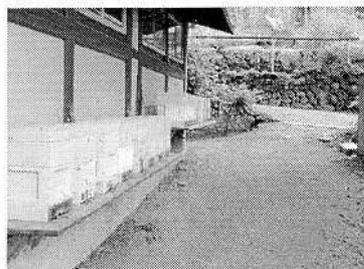


Fig.10: Installation pour l'étude du comportement concernant la construction.

Seize colonies placées chacune dans une ruche Mini-Plus, sur un seul corps, et équipées d'un nourrisseur, ont été posées sur deux poutrelles, en direction Nord-Sud, à environ 80 cm de hauteur, le long d'un bâtiment. Les huit colonies situées du côté Nord ont été équipées d'une station de base DECT. Les trous de vol des ruches étaient dirigés vers l'Est. Des arbres faisaient de l'ombre sur les ruches à peu près de la même manière tous les jours.

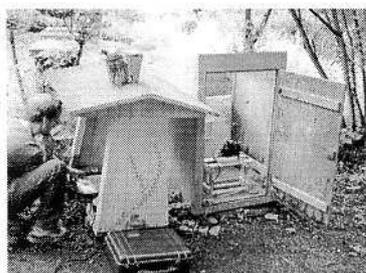


Fig. 11: Prises de vues photographiques

Pour commencer l'étude, des cadres vides portant une amorce de cire ont été pesés. Le 29.06.2005, les cadres étaient pourvus de 400 g d'abeilles et de 250 ml de solution de nourriture. D'autres apports de nourriture ont eu lieu: 200 ml le 5.07.2005, puis 500 ml le 7.07.2005. A partir du 1.07.2005, on a photographié chaque cadre de cire des deux côtés, tous les jours vers 9h30 et on en a déterminé le poids. Les photos ont toujours été prises dans le même ordre.

Présentation des résultats de l'étude

Etant donné que l'étude réalisée est une étude pilote, il faut à ce stade renoncer à l'évaluation statistique différentielle des résultats. On a juste représenté graphiquement des différences données à titre d'exemples bien visibles entre les colonies irradiées et non irradiées en ce qui concerne les poids acquis des cadres d'alvéoles et les temps de retour à la ruche. En ce qui concerne l'évolution du poids des cadres d'alvéoles et les surfaces bâties relevées, on a représenté également sur un diagramme les valeurs moyennes comparées pour les colonies irradiées et non irradiées.

La saisie automatique du comportement sur la voie de retour à la ruche grâce au BeeScan n'a pas été prise en compte étant donné que beaucoup de chiffres étaient constamment erronés à cause de défaillances techniques occasionnelles.

Les deux premiers graphiques restituent la répartition des poids totaux sur les cadres individuels d'alvéoles. Au cours de l'étude concernant les colonies, trois colonies irradiées et une colonie non irradiée ont été perdues. Pour le calcul des valeurs moyennes, on a pris en compte le moment de la perte pour le calcul du poids des cadres d'alvéoles.

La valeur moyenne de l'ensemble des poids des colonies irradiées et non irradiées indique l'évolution des poids entre les poids de départ et les poids à la fin de l'étude 1326 g et 1045 g. Par conséquent, la différence correspond à 281 g (21 %).

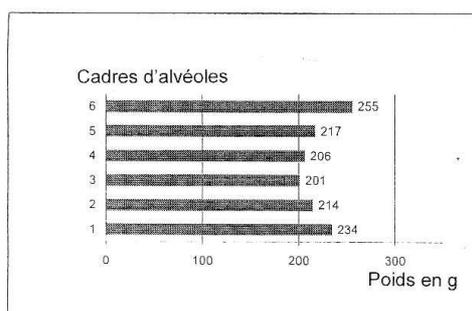


Fig. 12: Poids moyen des cadres d'alvéoles des colonies non irradiées, le 08.07.2005.

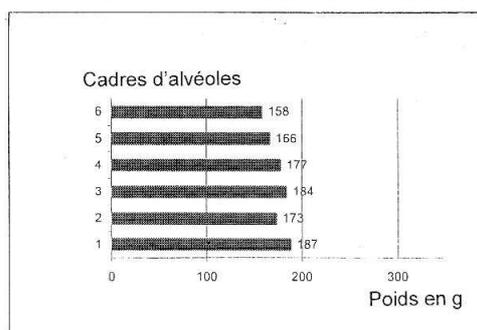


Fig. 13: Poids moyen des cadres d'alvéoles des colonies irradiées, le 08.07.2005.

Les deux graphiques suivants montrent l'évolution des poids des cadres d'alvéoles et des surfaces bâties au cours de la durée de l'étude. Quant aux colonies perdues, les valeurs ont été notées au moment de la perte et ont été considérées comme constantes jusqu'à la fin de l'étude. Etant donné que l'activité constructrice n'a pas été directement évaluée à la surface bâtie au cours de la recherche, l'évaluation de la conversion des photos des cadres d'alvéoles a été appliquée en valeurs moyennes de surfaces de part et d'autre pour chaque cadre, à l'aide du "Gephic tools image" (un programme d'analyse imagée de l'Institute of Mental Health – USA), afin de minimiser d'éventuelles erreurs d'évaluation des surfaces. Les formes des bâtisses ne peuvent pas être prises en compte, étant donné que l'aspect des photos ne fournit aucune conclusion, étant donné qu'aucune différence exemplaire entre les colonies irradiées et non irradiées ne peut être aperçue.

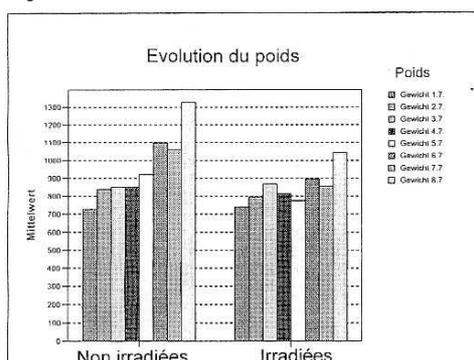


Fig 14 : Evolution du poids des cadres d'alvéoles

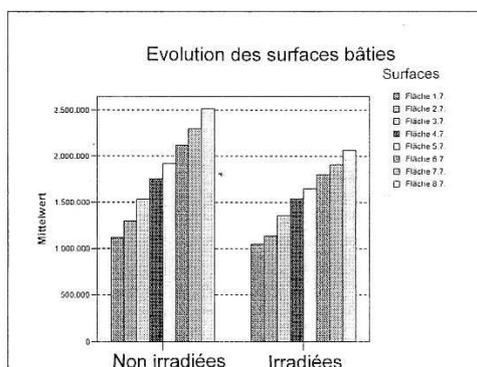


Fig. 15 : Evolution des surfaces bâties sur les cadres.

Les parcours au cours de la durée de la recherche fait nettement apercevoir que l'évolution des poids ainsi que l'évolution des surfaces bâties des colonies non irradiées sont plus élevées. Mais ceci ne peut être évalué seulement que comme une tendance, car pour aucune journée dans le décours du temps de l'étude, une différence entre colonies irradiées et non irradiées (5 % du niveau) n'a pu être obtenue pour qu'on puisse appliquer l'U-test de Mann-Whitney.

Les graphiques suivants présentent les comportements observés de retour à la ruche grâce à des prélèvements manuels à partir du 7.07.2005 de 12:10 à 12:55, par temps nuageux, à une température de l'air de 14 ° C et un vent du Nord.

En tout, le nombre d'abeilles revenant à la ruche est nettement plus élevé pour les populations non irradiées. Entre autres, la durée du retour des abeilles (moins de retours) est nettement plus élevée pour les colonies irradiées.

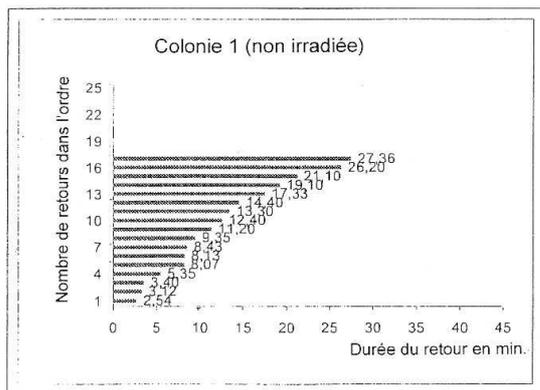


Fig. 17

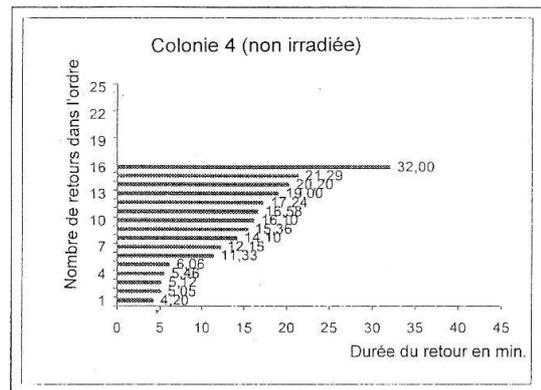


Fig. 16

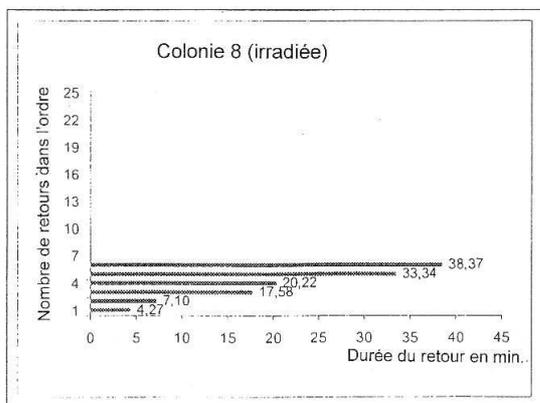


Fig. 18

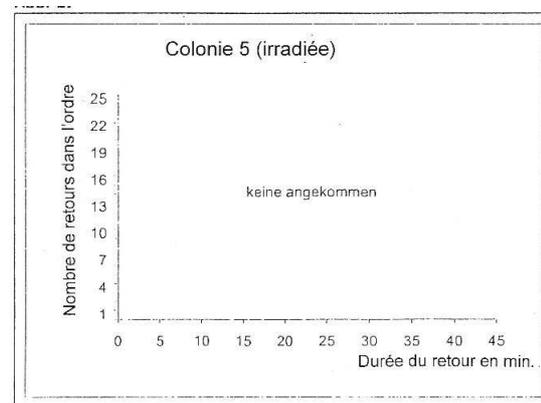


Fig. 19

Ce qui doit être particulièrement mis en exergue était ici encore le fait que le moment choisi pour l'étude présentait chaque fois un nombre maximal de retours à la ruche aussi bien pour les colonies irradiées que pour les colonies non irradiées. A aucun moment de la recherche, on n'a pu observer plus de 6 abeilles des colonies irradiées rentrant à leur ruche, et le plus souvent aucune, alors que pour les colonies non irradiées, on a pu observer à chaque moment de l'expérience, des abeilles rentrant à la ruche.

Aperçu des possibilités futures de variantes dans les recherches

D'un point de vue technique physique, on peut élaborer beaucoup de variantes dans le schéma de l'étude (par exemple, des variantes de fréquences et de puissances des stations DECT). On pourrait à vrai dire appliquer essentiellement de façon judicieuse, la recherche à des plages de fréquences et à des domaines de puissances. Ces fréquences et ces puissances sont rencontrées journallement et sont de ce fait d'un intérêt certain. De ce point de vue également, on pourrait envisager dans le futur les variantes techniques et physiques suivantes:

1. Augmentation de la puissance des stations de base DECT :

Pour une recherche dans "le pire des cas", la station de base du téléphone sans fil DECT devrait émettre en activité sa puissance d'émission maximale.

2. Variante de la fréquence des stations de base DECT:

Etant donné que les téléphones mobiles décrits dans cette recherche sont des téléphones DECT, ils devraient être utilisés dans une construction fermée et être reliés à une station de base via un téléphone à ligne fixe. D'autre part, les appareils habituels appelés GSM sont également compris dans la classification des téléphones mobiles. Les téléphones GSM

(Global System for Mobile-Communication) sont un type d'extension momentanée; ils se distinguent entre autres des DECT par leur fréquence d'émission. Ces téléphones mobiles peuvent être utilisés aussi bien dans un bâtiment fermé qu'à l'air libre et sont sans fil. Ils sont reliés à distance sur le terrain au réseau de téléphonie fixe via une station de base. Cependant, étant donné que les téléphones GSM disposent d'un réglage automatique de puissance qui réduit la puissance d'émission au moment de la cessation de la parole de la personne utilisant le téléphone, il faudrait mettre l'appareil en service dans "le pire des cas" lors de la réalisation de la recherche.

	Téléphone sans fil DECT	Téléphone mobile GSM
Fréquences	1880 – 1990 MHz	890 – 900 MHz (GSM 900) 1760 – 1865 MHz (DCS 1800)
Fréquence d'impulsions	100 Hz	217 Hz
Nombre de canaux	120	124 (GSM 900) 374 (DCS 1800)
Puissance d'émission	Puissance moyenne: 10 mW (max. 250 mW; 2,5 mW en mode d'attente)	Puissance maximale: 2 W (\pm 20 mW en mode d'attente)
Rayon d'action maximal	\pm 200 m dans les bâtiments	Jusqu'à 38 km, selon la topographie environnante
Engagement en duplex	Temps de duplex: (10 ms de durée)	Temps de duplex (20 ms de durée)
Engagement en multiplex	Fréquence-multiplex (FDMA)	Fréquence-multiplex : (FDMA)
Modulation	GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)	TDMA (Time Division Multiple Access)

Tableau 1 : Données techniques des différents types de téléphones mobiles.

D'autres variables pourraient également être prévues dans l'élaboration de la recherche; elles pourraient prendre en considération l'endroit de mise en place des ruches et les durées d'exposition. Ainsi, par exemple, la mise en place des colonies d'abeilles pourrait se faire en dispositions alternées au lieu d'une disposition en bloc, afin de minimiser les effets possibles attribuables au lieu. Il serait encore envisageable de modifier la durée de la recherche en plusieurs aspects et de l'étendre par exemple à l'ensemble des stades de développement des abeilles et pas seulement de se limiter à l'état des adultes, ou encore de varier les durées des irradiations et ainsi d'observer des modifications possibles du comportement de retour vers les ruches.

Références bibliographiques

- Faber, T. & Menzel, R. "Visualizing mushroom body response to a conditioned odor in honeybees"; *Naturwissenschaften*, 88 pp. 472 – 476 (2001).
- Ganzhorn, K. "Information, Strukturen und Ordnungsprinzipien" in Folberth, Hackl (Editeurs): *Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft*. Munchen, p. 105 et suiv. (1986).
- Giurfa, M. "The amazing mini-brain: lessons from a honey bee" *Bee World*, 84 (1) pp. 5 – 18 (2003).
- Kuhn, J. & Stever, H. "Die Beeinflussung des elektrischen Feldes durch die verschiedenen Materialien der Bienenkästen (Beuten); *Bienenwelt*, 41 (3), pp. 3-5 (1999a).
- Kuhn, J. & Stever, H. "Die beeinflussung des elektrischen Feldes durch die verschiedenen Materialien der Bienen kästen (Beuten); *Bienenwelt*, 41 (4), pp. 3-4 (1999b).
- Kuhn, J. & Stever, H. "Schutz der Bienen vor Handy-Strahlung" in *Schweizerische Bienen Zeitung*, 124, Heft 9, pp. 23-27 (2001).

- Kuhn, J. & Stever, H. "Einwirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Bienenvölker – erste Ergebnisse und Beobachtungen" in *Deutsches Bienen Journal*, 10, pp. 151-154 (2002).
- Kuhn, J. "Interdisziplinarität in Wissenschaft und Bildung", Marburg : *Tectum Verlag* (2002).
- Kuhn, J. "An advanced Interdisciplinarity Study in Theoretical Modelling of a Biological System – The effect of High Frequency Electromagnetic Fields on Honey Bees" *Acta Systemica – IIAS International Journal III* (1), pp. 31-36 (2003).
- Lansky, M. "Ein mathematische Modell für die Bildung von Ganzheiten" in Schauer, Tauber (Editeurs): *Informatik und Psychologie*, Wien, München, pp. 278 et suiv. (1982).
- Menzel, R. "Associative learning in honey bees", *Apidologie*, 24 (3), pp. 157-168 (1993).
- Nieh, J.C. & Tautz, J. "Behaviour-locked analysis reveals weak 200 –300 Hz comb vibrations during the honeybee waggle dance" *The Journal of Experimental Biology*, 203, pp. 1573 – 1579 (2000).
- Papaj, D.R. & Lewis, A.C. (Editeurs) "Insect learning – Ecological and Evolutionary Perspectives", New York, London : Chapman & Hall (1993).
- Rasband, W. (o.J.) "Image – image processing and analysis in Java" <http://rsb.info.nih.gov/ij/index.html>
- Stever, H. "Bewertung und Information als Problemfeld der Kybernetischen Pädagogik und Bildungsinformatik" in L. Kouba (éditeur) *Fourth Prague Conference on Educational Cybernetics*, Prag, pp. 310-314 (1991).
- Stever, H. "Bildungsinformatik an der Universität in Landau" in *Grundlagen-studien aus Kybernetik und Geisteswissenschaften (grkg)*, 37, pp. 107-110 (1991).
- Stever, H. "Theorie der Superzeichen im Rahmen der Bildungsinformatik" *Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft (grkg)*, 43 pp. 9-15 (2002).
- Stever, H. "Erweiterte Theorie der Superzeichen im Rahmen der Bildungsinformatik" *Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft (grkg)*, 44 pp. 27-33 (2003)
- Stever, H. & Kuhn, J. " Elektromagnetic exposition as an influencing factor of learning processes – A model of effect in educational informatics" *IIAS – Transaction on Systems Research and cybernetics III*(1) pp. 27-31 (2003a).
- Stever, H & Kuhn, J. "Elektromagnetische Exposition als Einflussfaktor für Lernprozesse – ein Einwirkungsmodell der Bildungsinformatik mit Bienen als Bioindikator" *Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft*, 44 Heft 4, pp. 179 – 183 (2003b).
- Stever, H & Kuhn, J. "Theorie der Superzeichen als Basis für ein Einwirkungsmodell zur Beeinflussung von Lernprozessen durch nicht-thermische Einwirkungen elektromagnetischer Strahlung" *Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft*, 45, Heft 2, pp. 51-61 (2004).
- Stever, H. & Svejda, G., "Rozsirenal Theorie Supermaku", *Ceske Budejovice* (2003).
- Von Frisch, Karl , "Vie et mœurs des abeilles", *Sciences d'Aujourd'hui*, Ed. Albin Michel (1969)(Traduit de l'édition Springer Verlag, 1965)
- Withers, G.S., Fahrbach, S.E. & Robinson, G.E. "Selective neuro-anatomical plasticity and division of labour in the honeybee", *Nature*, 364, pp. 238 – 240 (1993).

Présentation des auteurs

Wolfgang Harst, Psychologue diplômé, Université de Coblence-Landau, Campus Landau
 FB 7 ; Sciences de la Nature et de l'Environnement
 Institut de Mathématique, Groupe de Travail d'Informatique éducationnelle
 Thomas-Nast-Strasse, 44, D – 76829 Landau – Pfalz
harst@uni-landau.de

Jochen Kuhn, Dr. Université de Coblenz-Landau, Campus Landau
FB 7 ; Sciences de la Nature et de l'Environnement
Institut de Sciences Naturelles et de l'Éducation aux Sciences Naturelles
Département de Physique, Fortstrasse, 7, D - 76829 Landau - Pfalz
kuhn@uni-landau.de

Christoph Otten, Dr., DLR Centre spécialisé de l'Abeille et de l'Apiculture
Im Bannen, 38 – 45, D – 56727 Mayen
christoph.otten@dlr.rlp.de

Hermann Stever, Prof. Dr., Université de Coblenz-Landau, Campus Landau
FB 7 ; Sciences de la Nature et de l'Environnement
Institut de Mathématique, Groupe de Travail d'Informatique éducationnelle
Thomas-Nast-Strasse, 44, D – 76829 Landau – Pfalz
stever@uni-landau.de

Bernd Wunder, Statisticien diplômé, Université de Coblenz-Landau, Campus Landau
Centre Universitaire de Calcul, Fortstrasse 7, D – 76829 Landau – Pfalz
wunder@uni-landau.de

Les auteurs remercient le Prof. Dr. Ralf Schulz de l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'Université de Coblenz-Landau pour sa collaboration productive, les étudiants des Sciences de l'Environnement Martina Emser, Bernt Guckenmus, Corinna Herrmann, Stefan Kimmel, Christoph Klasen, Norbert Krauss et Tobias Reich pour leur engagement dans la préparation, la conduite et les évaluations de l'étude, ainsi que les deux maîtres apiculteurs Johannes Kraus et Gerald Wolters pour leur assistance sur place à Mayen, auprès des étudiants.

Document disponible sur :

http://s12.quicksharing.com/v/7112713/ABEILLES_DECT.doc.html