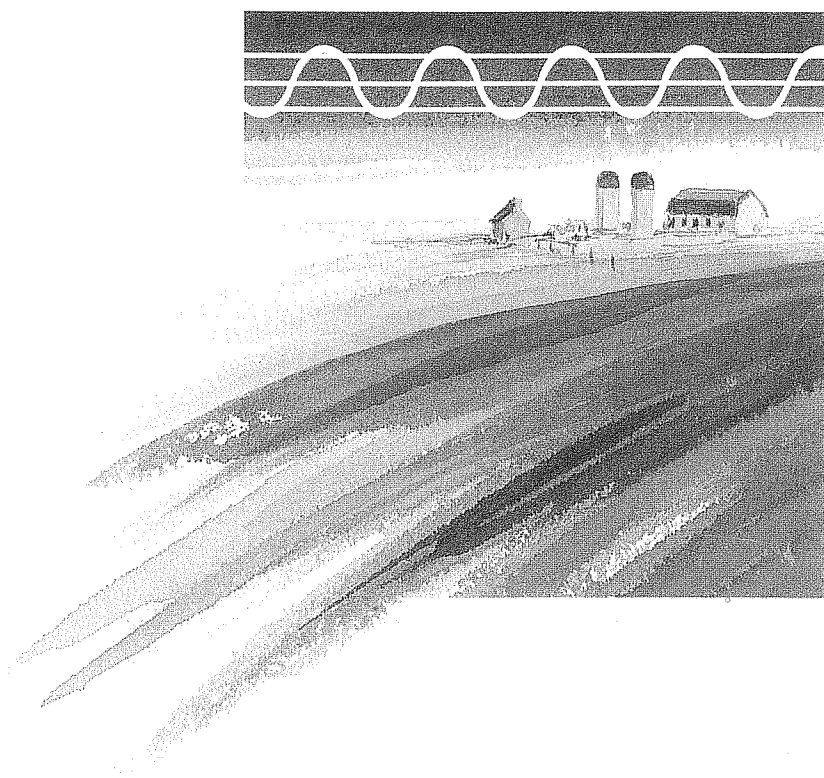


REVUE DES ÉTUDES SUR LES EFFETS
BIOLOGIQUES DES CHAMPS
ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTIQUE SUR
LES ABEILLES

ÉLECTRICITÉ : SANTÉ ET ENVIRONNEMENT



HQ
ENVI
94
1504



Hydro-Québec

**REVUE DES ÉTUDES SUR LES EFFETS
BIOLOGIQUES DES CHAMPS
ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTIQUE SUR
LES ABEILLES**



RAPPORT D'ÉTUDE : SOMMAIRE

NO
ENVI
94
1574

Auteurs et Titre :

PELLETIER C., CLOUTIER I., GOULET D. (1994) Revue des études sur les effets biologiques des champs électriques et magnétiques sur les abeilles, le Groupe S.M. inc. (Aménatech inc.), pour la direction Recherche et Encadrements, vice-présidence Environnement, Hydro-Québec, 37 p. et annexes.

Résumé :

Plusieurs facteurs environnementaux influencent la physiologie, le comportement et la production des abeilles. La lumière et la gravité en sont quelques-uns. L'idée d'examiner les effets biologiques de l'énergie électrique sur les abeilles a fait l'objet de nombreuses recherches.

Les effets des champs électriques et magnétiques tant en courant alternatif que continu sur les abeilles ont fait l'objet d'études sur le terrain et en laboratoire. Depuis les années 1970, avec le développement des réseaux de transport d'énergie électrique, plusieurs chercheurs ont examiné les effets possibles du champ électrique, principalement à une fréquence de 60 Hz et des chocs électriques sur les abeilles. À noter que les études ont abordé les effets du champ magnétique mais principalement en relation avec le champ géomagnétique.

Ce rapport fait état des études réalisées dans ce domaine au cours des trente dernières années. Il regroupe les effets observés sur divers systèmes physiologiques, sur le comportement et sur la production des abeilles en fonction des paramètres électriques, magnétiques des sources d'exploitation incluant les lignes à haute tension.

Mots clés :

Champ électrique, champ magnétique, courant alternatif, courant continu, mesure d'atténuation, abeille

Liste de distribution :

Hydro-Québec : Vice-Présidence Environnement (VPE)
Contentieux
Groupe Production, Transport et Télécommunication

Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF)

Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)

Insectarium

Version: finale

Code de distribution: interne/externe

Date: juillet 1994

Responsable de l'étude:

D. Goulet, service Santé environnementale, vice-présidence Environnement, Hydro-Québec



Revue des études sur les effets
biologiques des champs
électriques et magnétiques sur
les abeilles

Présentée à:
Hydro-Québec
Vice-présidence Environnement

ISABELLE CLOUTIER, BIOL.
Chargée de projet

CARMEN PELLETIER, GÉOG., M ENV.
Directrice de projet

Juillet 1994
N/réf.: 11617-000

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Le Groupe S.M. inc.

Carmen Pelletier, géog., (M. Env.), directrice de projet

Isabelle Cloutier, biol.,(M.Env.), chargée de projet

Hydro-Québec

Daniel Goulet, biol., (PH.D.), vice-présidence Environnement

France Renaud, agr., vice-présidence Environnement

Table des matières

	Page
Table des matières	i
Liste des tableaux	iii
Liste des abréviations	iv
Glossaire	v
INTRODUCTION	1
I. LES NOTIONS ET LES UNITÉS DES CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES	3
1.1 Le champ électrique	6
1.2 Le champ magnétique	6
1.3 Caractéristiques des champs électriques et magnétiques des lignes de transport et de distribution d'électricité	8
II. LES MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES DE LA PERCEPTION DES CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES CHEZ LES ABEILLES	10
2.1 Biologie de l'abeille	10
2.1.1 Cycle de vie	11
2.1.2 Nidification	12
2.1.3 Activités sociales	13
2.2 Mécanismes physiologiques de perception des champs électriques et magnétiques	14
III. LES EFFETS BIOLOGIQUES DES CHAMPS ÉLECTRIQUES SUR LES ABEILLES	17
3.1 Les études sur les effets des champs électriques alternatifs	17
3.1.1 Physiologie	17
3.1.2 Comportement et production	19
3.1.3 Induction de courant	20
3.2 Les études sur les effets des champs électriques continus	20
3.3 Les études sur les effets des autres catégories de champs électriques	21
IV. LES EFFETS BIOLOGIQUES DES CHAMPS MAGNÉTIQUES SUR LES ABEILLES	23
4.1 Les études sur les effets des champs magnétiques alternatifs	23

4.1.1	Physiologie	23
4.1.2	Comportement	24
4.2	Les études sur les effets des champs magnétiques continus.....	24
4.2.1	Physiologie	24
4.2.2	Comportement	25
4.2.3	Induction de courant.....	28
4.3	Les études sur les effets des autres catégories de champs magnétiques.....	29
V.	LES EFFETS BIOLOGIQUES DES CHOCS SUR LES ABEILLES	31
	CONCLUSION.....	34
ANNEXE	BIBLIOGRAPHIE ANNOTÉE	

Liste des tableaux

Tableau 1	Quantités, symboles et unités des champs électriques et magnétiques en Système International (SI).....	4
Tableau 2	Facteurs de conversion pour les unités du champ magnétique.....	5
Tableau 3	Niveaux maximaux des CEM dans l'emprise des lignes à haute tension	9
Tableau 4	Effets des champs électriques sur les abeilles.....	22
Tableau 5	Effets des champs magnétiques sur les abeilles	30
Tableau 6	Effets des chocs électriques sur les abeilles.....	33

Liste des abréviations

CE:	Champ électrique
CM:	Champ magnétique
CEM:	Champ électromagnétique
COND. EXP.:	Conditions expérimentales
CMT:	Champ magnétique terrestre
LHT:	Ligne à haute tension

Glossaire

Alvéole	: Cavité hexagonale d'un rayon servant au développement larvaire d'une abeille.
Butinage	: Collecte du pollen et du nectar par des abeilles ouvrières.
Cadre	: Structure construite pour le support des rayons dans une ruche moderne.
Couvain	: Oeufs, larves et nymphes d'abeilles concentrés dans une zone d'un rayon.
Cuticule	: Zone superficielle du tégument de l'abeille contenant de la chitine.
Éclaireuse	: Abeille ouvrière ayant pour tâche la recherche des sources de nourriture et de propolis.
Essaimage	: Émigration d'une partie de la colonie d'abeilles suite à la naissance d'une nouvelle reine.
Garde	: Activité de garde de la ruche contre les intrus.
Hausse	: Boîte de bois formant le corps de la ruche conventionnelle et permettant le support et la construction des rayons.
Narcolepsie	: Tendance irrésistible au sommeil.
Nid	: Habitation des abeilles en milieu naturel.

- Nourrice : Abeille ouvrière âgée de 0 - 13 jours qui nourrit les larves.
- Opercule : Mince couvercle de cire qui ferme les alvéoles des abeilles.
- Phototactisme : Propriété de se diriger vers la source éclairée ou de la fuir.
- Proboscis : Partie des appendices buccaux de l'abeille servant à la récolte du pollen et du nectar.
- Propolis : Résine des bourgeons récoltée pour cimenter les rayons et les parois de la ruche et embaumer les carcasses des intrus.
- Propolisisation : Action de recueillir et d'utiliser la propolis.
- Rayon : Structure servant de support pour la construction d'alvéoles.
- Recrue : Abeille ouvrière recrutée pour effectuer différentes tâches.
- Ruche : Structure en bois qui imite le nid d'abeilles retrouvé en milieu naturel.

Note au lecteur:

Tous les mots qui sont suivis d'un * dans le texte sont définis dans le glossaire.

INTRODUCTION

Les lignes de transport (haute tension) et de distribution d'électricité génèrent, dans l'environnement immédiat de ses équipements, des champs électriques et magnétiques (CEM). La tension sur les conducteurs est la source du champ électrique (CE) présent dans l'environnement immédiat. Ce champ électrique induit des tensions et des courants à des objets conducteurs tels les ruches d'abeilles. Le champ magnétique (CM) est produit par le courant circulant dans les conducteurs (Lee et al, 1983).

Le champ électrique provenant des lignes à courant alternatif interagit à trois niveaux, soit par l'induction directe de faibles courants et de champs électriques à l'intérieur du corps des abeilles, par la décharge de petits chocs électriques intermittents ou continus au contact d'objets conducteurs comme une ruche et par la perception du champ électrique par les organes sensoriels tels les poils chez l'abeille (Lee et al, 1983). Le champ électrique continu, quant à lui, ne génère pas de courants induits (Es'kov et al, 1990). Le champ magnétique induit également de faibles courants.

Aménatech inc. a été mandaté par la Vice-présidence Environnement d'Hydro-Québec pour réaliser une revue de littérature, couvrant les trente (30) dernières années, sur les effets biologiques induits par des champs électriques et magnétiques en courants alternatif et continu ainsi que les chocs électriques perçus par les abeilles. Ainsi, à partir d'un corpus regroupant 54 articles scientifiques sélectionnés au moyen des bases de données informatiques Dialogue et de l'Institut canadien de l'information scientifique et technique, l'étude vise à faire le point sur l'état des connaissances dans ce domaine.

Dans un premier temps, tous les articles ont fait l'objet d'une fiche bibliographique à l'aide du logiciel Pro-Cite (configuration Macintosh). Par la suite, l'analyse des données a permis de présenter l'information selon différentes thématiques. Le chapitre 1 aborde les notions et les unités des champs électriques et magnétiques. Les mécanismes de

perception et les effets biologiques des champs électriques et magnétiques ainsi que des chocs électriques sont présentés aux chapitres 2, 3, 4 et 5. La conclusion du rapport est suivie d'une bibliographie annotée présentée en annexe.

I. LES NOTIONS ET LES UNITÉS DES CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

Les phénomènes électromagnétiques qui influencent divers organismes biologiques tels les abeilles, font référence aux lois de la physique. Une source d'énergie électrique se caractérise en terme de champs électromagnétiques. Le champ électrique est généré par la tension au niveau des conducteurs tandis que le champ magnétique est produit par le courant qui circule dans ces mêmes conducteurs. Les champs électrique et magnétique existant près d'une source ELF ("extremely low frequency"), c'est-à-dire d'extrêmes basses fréquences (< 300 Hz), doivent être considérés séparément étant donné qu'il n'y a pas nécessairement une relation constante entre eux.

Selon la nature de la source d'électricité, les champs électriques et magnétiques peuvent être constants (continus ou statiques) ou variables (alternatifs, pulsés) dans le temps. Les champs alternatifs peuvent être de forme sinusoïdale c'est-à-dire que le courant change d'une polarité négative à positive de façon symétrique selon une fréquence donnée. Quant aux champs pulsés, le courant circule de façon intermittente et durant une très courte période de temps.

Les quantités, les symboles et les unités décrivant les champs électriques et magnétiques dans le Système International (SI) sont présentés au tableau 1. Les facteurs de conversions nécessaires pour comparer les unités du champ magnétique calculées avec les systèmes d'unités MKS (mètre, kilogramme, seconde) et CGS (centimètre, gramme, seconde) par rapport au SI sont indiqués au tableau 2.

Tableau 1: Quantités, symboles et unités des champs électriques et magnétiques en système SI

Quantité	Symbole	Unité
Tension	V	volt (V)
Intensité du champ électrique	E	volt par mètre (V/m)
Résistance électrique	R	ohm (Ω)
Courant électrique	I	ampère (A)
Résistivité	ρ	ohm - mètre ($\Omega \cdot m$)
Conductivité	σ	siemens par mètre (S/m)* ₁
Densité du courant	J	ampère par mètre carré (A/m ²)
Champ magnétique	H	ampère par mètre (A/m)
Densité de flux magnétique	B	tesla (T)* ₂
Perméabilité magnétique	μ	henry par mètre (H/m)* ₃
Perméabilité du vide	μ_0	1.26×10^{-6} H/m
Fréquence	f	hertz (Hz)* ₄
Temps	t	seconde (s)

*₁ siemens (S) = Ω^{-1}

*₂ tesla (T) = Wb/m²*₅

*₃ henry (H) = Wb/A*₅

*₄ hertz (Hz) = cycles/s

*₅ weber Wb) = V.s

Tableau 2: Facteurs de conversion pour les unités du champ magnétique

À obtenir À convertir	Tesla (T)	Gauss (G)	Gamma (γ)	Ampère/m (A/m)	Oersted (Oe)
Tesla	1	10^4	10^9	$7,96 \times 10^5$	10^4
Gauss	10^{-4}	1	10^5	79,6	1
Ampère/m	$1,26 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-2}$	1 256	1	$1,26 \times 10^{-2}$
Oersted	10^{-4}	1	10^5	79,6	1
Gamma	10^{-9}	10^{-5}	1	$7,96 \times 10^{-4}$	10^{-5}

1.1 LE CHAMP ÉLECTRIQUE

Un champ électrique (E), en un point quelconque de l'espace, représente la force (F) en intensité et en direction qui est appliquée à une charge (q) positive placée en ce point. Cette définition est contenue dans l'expression:

$$F = qE$$

L'intensité d'un champ électrique est définie par le rapport suivant:

$$E = \frac{V}{d}$$

Cette formule montre que l'intensité d'un champ électrique (E) dans l'air ambiant entre deux conducteurs parallèles s'exprime par le quotient entre la tension en volts (V) et la distance (d) séparant les conducteurs. L'intensité d'un champ électrique se mesure en volts par mètre (V/m). On utilise un multiple, le kilovolt par mètre (kV/m), pour mesurer les champs électriques induits à proximité des lignes à haute tension ou le champ électrique atmosphérique.

1.2 LE CHAMP MAGNÉTIQUE

La présence d'un courant électrique, c'est-à-dire lorsque les charges sont en mouvement, engendre un champ magnétique. Les phénomènes magnétiques dans la matière biologique sont représentés par deux quantités vectorielles, le champ magnétique (H) et la densité du flux magnétique (B). La relation entre le courant (I) et le champ magnétique (H) est décrite par la loi d'Ampère:

$$I = \int H \, dl$$

où dl correspond à un élément de longueur parcourue. La densité de flux (B) se calcule à partir du champ magnétique (H) en utilisant la relation mathématique suivante:

$$B = \mu H$$

où μ est la perméabilité d'un milieu. En présence de matière biologique $\mu = \mu_0$, c'est-à-dire égal à la perméabilité du vide. Par conséquent, dans le cas présent, les valeurs B et H sont reliées par une constante (μ_0).

1.3 CARACTÉRISTIQUES DES CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES DES LIGNES DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ

En Amérique du Nord, incluant le Québec, l'électricité est principalement transportée (haute tension) et distribuée (basse tension) à une fréquence de 60 Hertz (Hz), soit 60 cycles par seconde. Les tensions utilisées à Hydro-Québec pour le transport du courant alternatif sont 735 kV, 315 kV, 230 kV et 120 kV. Une seule ligne en courant continu à ± 450 kV existe sur le territoire québécois, soit la ligne Radisson-Nicolet-Des Cantons.

Le tableau 3 présente les valeurs maximales d'intensité des champs électriques et magnétiques en courant continu et alternatif retrouvées dans l'emprise des lignes à haute tension d'Hydro-Québec.

Tableau 3

NIVEAUX MAXIMAUX DES CEM DANS L'EMPRISE DES LIGNES À HAUTE TENSION

Type de ligne	Courant maximal (A) ^a	Champ électrique (kV/m)		Champ magnétique (μ T)	
		sous-conducteur	bordure emprise ^b	sous-conducteur	bordure emprise ^b
450 kV (CC)	2 000	18,70	17,50	5,40	3,80
735 kV (AC)	2 000	9,96	1,86	32,00	6,00
315 kV (AC)	750	5,62	1,31	14,95	9,67
230 kV (AC)	750	4,09	1,91	15,68	13,00
120 kV (AC)	750	2,59	0,40	17,18	9,50

a) Ces valeurs sont sujettes à changement selon l'exploitation du réseau.

b) Les largeurs d'emprise utilisées pour ces calculs sont: 80 m pour 735 kV, 60 m pour 450 kV, 30 m pour 315 kV, 20 m pour 230 kV et 120 kV.

II. LES MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES DE LA PERCEPTION DES CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES CHEZ LES ABEILLES

Les abeilles sont des insectes vivant en société complexe et bien définie. Elles utilisent le champ magnétique terrestre (de l'ordre de 30 à 70 μ T selon l'orientation du champ) pour s'orienter au même titre que la lumière et la gravité.

Les articles colligés ont permis d'identifier les mécanismes physiologiques de la perception des champs électriques et magnétiques chez les abeilles.

2.1 BIOLOGIE DE L'ABEILLE

La présente étude se concentre principalement sur l'abeille commune soit *Apis mellifera* qui signifie abeille productrice ou porteuse de miel. L'habitat naturel de l'abeille commune s'étend du sud de l'Afrique au nord de l'Europe. Il existe plusieurs races qui, chacune avec ses caractéristiques propres, s'adaptent aux différents climats. Les races mentionnées dans la présente revue de littérature sont des abeilles européennes.

L'abeille noire allemande, *Apis mellifera* est de grande taille avec une petite langue de 5,7 à 6,4 mm de longueur. Elle a tendance à être agressive et nerveuse mais hiverne bien sous les climats rigoureux. Sa difficulté à butiner les fleurs à corolle longue tel le trèfle a eu pour conséquence son retrait de l'apiculture professionnelle. L'abeille camiolienne, *Apis mellifera carnica*, est originaire de la vallée du Danube. De couleur brune ou grise, elle est très populaire pour l'apiculture en raison de sa docilité. Elle hiverne en petites colonies avec une faible consommation de miel et se développe rapidement au printemps. Elle est, cependant, lente à construire de nouveaux rayons*. On retrouve également l'*Apis mellifera mellifica*, parfois appelée *Apis mellifica*, qui est

l'abeille noire d'Europe (communication personnelle avec un représentant du MAPAQ). L'abeille italienne, *Apis mellifera ligustica*, est l'abeille la plus populaire dans le monde. Son abdomen possède de larges segments jaunes et sa langue est relativement longue, soit de 6,3 à 6,4 mm. Elle hiverne en grand nombre et a une forte consommation de miel. Elle construit rapidement de nouveaux rayons et pille les autres races (Winston, 1993). Au Québec, plus de 95 % des abeilles mellifères sont de race italienne (MAPAQ, 1980).

2.1.1 CYCLE DE VIE

Il existe trois (3) castes* chez les abeilles soit la reine, le mâle (faux-bourdon) et l'ouvrière. Le cycle de vie de ces trois (3) castes comprend respectivement quatre (4) stades majeurs: l'oeuf, la larve, la nymphe (pupe) et l'adulte (imago). L'ensemble des trois (3) premiers stades se nomme le couvain. Une seule reine est présente dans la ruche et sa tâche unique est la reproduction de l'espèce. Les mâles ont pour tâche la fécondation des reines vierges et les ouvrières sont des femelles stériles qui effectuent les tâches reliées au soin de la ruche et à la récolte du pollen et du nectar.

Les oeufs pondus par la reine et fécondés se développent en ouvrière ou en reine. Les oeufs non fécondés se développent en mâles. La reine dépose chaque oeuf au fond d'un alvéole. Celle-ci consiste en une petite cavité hexagonale du rayon servant au développement larvaire des abeilles. L'oeuf éclos au bout de trois (3) jours et donne une larve. Cette larve incurvée au fond de l'alvéole est alimentée par les nourrices qui sont des abeilles ouvrières âgées de quelques jours. Au cours de sa croissance, la larve rejette son squelette externe (cuticule) à cinq reprises. À la fin, elle reçoit de la nourriture et l'alvéole est scellé d'un capuchon de cire, l'opercule. La larve tisse un cocon et s'allonge dans la cellule la tête près de l'opercule. Le lendemain, elle perd à nouveau sa cuticule et se transforme en nymphe. Après un temps variable selon la caste, la nymphe mue de nouveau pour donner naissance à l'adulte qui ronge l'opercule et sort de l'alvéole (MAPAQ, 1980). Tout le processus de l'oeuf à l'état

adulte prend de 16 à 24 jours selon la caste*. Le couvain* n'ayant pas atteint la maturité est mangé par les ouvrières adultes qui se nourrissent principalement de miel et de pollen (Winston, 1993).

La reine peut vivre de 4 à 5 ans et le mâle vit environ 50 jours. L'ouvrière peut vivre jusqu'à 36 jours durant la saison active et les ouvrières de la dernière génération qui n'ont pas nourri de jeunes larves peuvent vivre six mois pendant l'hivernage (MAPAQ, 1980).

2.1.2 NIDIFICATION

Les abeilles vivent en colonies dans des nids* possédant diverses chambres. Ces chambres consistent en des feuilles minces faites de cire, les rayons, pendues perpendiculairement au plafond de la ruche et espacées de 8 millimètres. La distance entre chaque rayon permet aux abeilles de circuler librement au sein du nid. Les espaces les plus grands des rayons sont réservés à la construction des alvéoles*. Les espaces les plus petits sont remplis de propolis, laquelle consiste en une substance résineuse de certains bourgeons récoltée pour cimenter les rayons et les parois de la ruche et embaumer les carcasses des intrus.

La ruche moderne utilisée dans l'apiculture est basée sur l'architecture du nid telle qu'observée en milieu naturel par Langstroth au milieu du 19^{ième} siècle. Des cadres* espacés permettent le support et la construction de rayons par les abeilles. Les cadres sont insérés dans différentes hausses*. Ces demières sont des boîtes de bois formant le corps de la ruche. Elles contiennent habituellement dix (10) cadres et servent aussi bien de chambre à couvain* que de chambres à miel. Les hausses sont montées sur un support servant de plancher à la ruche et fermées par un couvercle (MAPAQ, 1978).

2.1.3 ACTIVITÉS SOCIALES

La reine et les mâles servent à la reproduction de la colonie tandis que les ouvrières accomplissent toutes les tâches dans la ruche. Dès le moment de leur émergence, les ouvrières effectuent le nettoyage des alvéoles*, l'élevage du couvain* et la construction des rayons* puis, lorsque plus âgées, elles effectuent la garde* et le butinage*.

La première tâche de l'ouvrière est le nettoyage des alvéoles*. Ensuite, elle est nourrice* pour les larves de la reine ainsi qu'aux jeunes larves d'ouvrières. Son travail de nourrice se termine vers l'âge de 13 jours. De 13 à 18 jours, les tâches principales sont la sécrétion de la cire, le tassage du pollen, le transport et la maturation du nectar, la propolisisation*, le nettoyage, le vol d'orientation et la garde. De 18 à 36 jours, un certain nombre devient gardienne à l'entrée de la ruche. D'autres feront le butinage ou se livreront au pillage. Le pollen et le nectar sont recueillis par les butineuses qui effectuent également les danses de communication. Environ 10 % des abeilles ouvrières occupe le poste d'éclaireuse et ont pour tâche de repérer les sources de nourriture et de propolis (MAPAQ, 1980).

L'orientation des abeilles lors du butinage* du pollen et du nectar dépend de leur organes sensoriels. Les poils sensoriels, sont des récepteurs importants pour l'orientation spatiale des abeilles. Ils jouent un rôle au niveau de la détection de la gravité, de la construction du rayon et de la direction des danses de communication (Korall et al, 1987).

Les premières éclaireuses* communiquent aux autres la localisation de la source de nourriture par l'odorat et des danses variées. Les recrues* apprennent l'odeur d'une source de nourriture par le contact avec les antennes des éclaireuses (Winston, 1993). Des charges électriques statiques contenues dans une composante lipidique au niveau de la cuticule des antennes attirent les substances odorantes (Erickson,

1982). Plusieurs danses sont effectuées par les éclaireuses. La danse en rond est effectuée pour le recrutement des abeilles butineuses*. La danse oscillante transmet la localisation des nouveaux sites de nourriture et de nidification. La danse vibratoire dorso-ventrale stimule le butinage et l'essaimage* au sein de la colonie (Winston, 1993). En général, les danses de communication sont faites sur des rayons* pendus verticalement au plafond de la ruche. L'angle fait par l'abeille avec le rayon et l'orientation de la danse indiquent l'angle entre le soleil et la source de nourriture (Kirschvink, 1981).

Les abeilles se dirigent également à l'aide du champ magnétique terrestre (CMT). Le CMT provoque des faibles déviations mais régulières dans l'angle de direction des danses. Kirschvink (1981) a observé, lors d'une expérience, que les déviations disparaissent lorsque le CMT est annulé.

2.2 MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES DE PERCEPTION DES CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

Les abeilles perçoivent ou réagissent aux CEM. Les CE affectent le comportement général des abeilles en induisant des CE et des courants induits dans la ruche. Les abeilles perçoivent le CMT et ce dernier influence plusieurs activités sociales.

Les abeilles peuvent emmagasiner des charges électriques. L'exposition d'une abeille à un CE externe génère un CE à la surface de son corps entraînant une induction électrostatique et une polarisation de sa cuticule*. Au contact d'une autre abeille, le CE peut être de vingt (20) fois supérieur au CE de départ. Le courant induit peut alors être huit (8) fois plus élevé (Es'kov et al 1990).

À un CE de 100 kV/m, un courant de 240 nA peut être induit. La quantité de courant induit dans l'abeille dépend de la tension présente à l'entrée de la ruche, de l'impédance du contact entre la patte de l'abeille et le substrat conducteur, de

l'impédance de l'abeille, du nombre d'abeilles passant au même moment sur le substrat conducteur et des divers dépôts sur le substrat conducteur (**Bindokas et al, 1988a**).

L'architecture de la ruche influence les CE provoquant des possibilités de chocs électriques pour les abeilles. Plus la ruche est grande, plus la possibilité de courants induits est grande. Les CE et les courants induits à l'intérieur de la ruche ont une plus grande intensité entre les cadres*, au niveau des rayons* les plus remplis de miel ou de couvain (**Greenberg et al, 1985**). **Carstensen (1987)** indique que c'est l'environnement électrique à l'intérieur de la ruche et non l'exposition à l'extérieur de la ruche qui affecte le comportement chez les abeilles.

Le comportement des abeilles face au CMT serait fonction de magnétorécepteurs présents dans l'abeille sous la forme de cristaux de magnétite (Fe_3SO_4). L'interaction de la magnétite avec le CMT est 10^7 fois plus important que toute autre substance biologique. C'est pourquoi on lui attribue une sensibilité magnétique (**Kirschvink et al, 1991**).

Des études effectuées en laboratoire par **Gould (1980)** ont déterminé que la quantité de cristaux de magnétite requise pour la détection du CMT est de 10^4 cristaux. La quantité présente chez l'abeille est de 10^6 cristaux soit cent (100) fois plus. Les cristaux de magnétite seraient synthétisés dans le dernier stage de la nymphe. Asymétriques et ordonnés, ils sont localisés dans la zone frontale de l'abdomen, près d'un des deux organes de gravité.

Kirschvink (1981) a émis certaines hypothèses au sujet de la taille des cristaux de magnétite. Ce serait des cristaux de l'ordre de $1\,000\text{ \AA}$ ($0,1 - 0,6\text{ }\mu\text{m}$). Il n'y a cependant aucune preuve expérimentale de la détection du CM par les cristaux de magnétite, les appareils actuels n'en permettant pas la détection. Les magnétomètres ont une

résolution de 10^{-8} emu¹ et les cristaux de magnétite ont un moment magnétique de $5,14 \times 10^{-13}$ emu.

¹ emu: *Unrationalized electromagnetic units*. Un emu = 10^{-8} V (Bleaney et al, 1959)

III. LES EFFETS BIOLOGIQUES DES CHAMPS ÉLECTRIQUES SUR LES ABEILLES

Le présent chapitre se veut une synthèse des articles colligés sur les effets des CE, constants ou variables dans le temps touchant la physiologie et le comportement des abeilles et des colonies d'abeilles.

3.1 LES ÉTUDES SUR LES EFFETS DES CHAMPS ÉLECTRIQUES ALTERNATIFS

3.1.1 PHYSIOLOGIE

Altmann et al (1976) ont soumis des abeilles *Apis mellifera mellifica* à différents CE d'une fréquence de 50 Hz. Celles-ci montrent une augmentation au niveau de leur métabolisme à la suite d'une augmentation de l'activité motrice. Sous un CE de 10 kV/m, le métabolisme basal des abeilles varie. À des CE de 20 à 40 kV/m, le métabolisme basal des abeilles augmente avec une intensité croissante du CE et à 50 kV/m, les abeilles se piquent entre elles.

Aux États-Unis, les études sous les lignes à haute tension ont surtout été effectuées par Greenberg et al dès la fin des années 1970. Leurs études ont porté sur des ruches blindées et des ruches exposées à un CE de 7 kV/m. Ils ont observé un taux de mortalité chez les reines de 57 % dès les deux (2) premières semaines pour atteindre un taux de mortalité de 100 % après 2 mois dans toutes les ruches. La survie hivernale des abeilles ouvrières est très faible particulièrement pour les ruches de 1,5 m de hauteur exposées pendant 114 jours. Le comblement des alvéoles* est normal dans toutes les ruches (Greenberg et al, 1981a). Greenberg et al (1981b, 1985) ont repris les expériences en 1980. Les abeilles exposées à des CE de 7 kV/m et un courant induit de 90 μ A ont une baisse du poids net après une semaine ($P = 0,01$). Les

abeilles exposées à des CE de 5,5 kV/m (70 μ A) et à des CE de 4,1 kV/m (50 μ A) ont une baisse de poids net après 2 et 11 semaines respectivement ($P = 0,0005$ et $P = 0,03$). Le poids n'est pas modifié dans les ruches exposées à 1,8 kV/m (20 μ A) et 0,65-0,85 kV/m (8,5 μ A) même après 25 semaines ($P = 0,003$). De plus, dans les ruches exposées à 7,0 kV/m (90 μ A), 6 des 7 reines sont mortes tandis que dans les ruches exposées à moins de 4,1 kV/m (50 μ A), aucune perte de reine n'est observée. Ils ont donc déterminé un seuil des effets des CE de 4,1 kV/m. La distance à partir de la limite de l'emprise de la ligne de 765 kV où les effets sont nuls est évaluée à 23 mètres.

Des études des effets des CE sur les conditions à l'intérieur de la ruche ont également été réalisées. Es'kov et al (1979) ont étudié les abeilles face aux CE alternatifs de faibles intensités avec les paramètres de la température et de la concentration de CO₂. À un CE de 35 V/cm d'une fréquence de 500 Hz, la température augmente de 3,6°C et la concentration en CO₂ diminue de 2,0 % après une heure d'exposition. Ils ont également observé une augmentation de la production des abeilles de 30 fois à un CE de 100 V/cm d'une fréquence de 500 Hz. Bindokas et al (1988a, 1988b) ont observé qu'à l'intérieur de la ruche, un CE de 100 kV/m d'une fréquence de 60 Hz sur un substrat conducteur accroît le taux de mortalité chez les abeilles *Apis mellifera*.

Bindokas et al (1989) ont observé des vibrations au niveau des organes sensoriels des abeilles *Apis mellifera* en laboratoire à un CE de 150 kV/m et plus d'une fréquence de 60 Hz. Es'kov et al (1990) ont également étudié la sensibilité des poils sensoriels sur *Apis mellifera*. Cette sensibilité dépend de l'amplitude de la fréquence des CE et de la durée d'exposition. À une intensité de 50 V/cm et une fréquence de 20 Hz, l'angle des vibrations des poils sensoriels dévie de $0,8 \pm 0,1^\circ$. À une intensité de 500 V/cm, l'angle des vibrations dévie de $4,9 \pm 0,3^\circ$, soit cinq (5) fois plus.

3.1.2 COMPORTEMENT ET PRODUCTION

Les premières études sur le comportement des abeilles face aux CE viennent d'Europe, particulièrement d'Allemagne. Dans les années 1960, **Welleinstein (1973)** a constaté une augmentation de l'agressivité et de l'activité des abeilles *Apis mellifera mellifica* situées sous une ligne à haute tension de 220 kV. La collecte de pollen et de nectar double et la production de nouvelles reines est élevée favorisant l'essaimage*.

Aux États-Unis, **Greenberg et al (1981a)** ont observé une production anormale de propolis* et un poids net inférieur aux témoins pour les ruches exposées pendant 114 jours consécutifs à un CE de 7 kV/m d'une fréquence de 60 Hz. La production de couvain* est normale lors des deux premières semaines d'exposition dans les ruches de 1,5 m de hauteur mais devient nulle après huit semaines. **Greenberg et al (1981b, 1985)** ont repris leurs études et ont déterminé une propolisation* plus importante dans les groupes exposés à plus de 4,1 kV/m mais sans différence significative. Des études effectuées en laboratoire par **Bindokas et al (1989)** ont démontré des effets sur le comportement des abeilles *Apis mellifera* exposées à un CE de 150 kV/m d'une fréquence de 60 Hz. Les abeilles sont plus agressives et se piquent entre elles.

Bindokas et al (1988a, 1988b) ont induits différents CE dans les entrées de ruches afin d'observer le changement de comportement en fonction de l'intensité du CE. Ils ont observé qu'un CE de 100 kV/m ne provoque aucun effet sur les abeilles *Apis mellifera* lorsque celles-ci sont en contact avec un substrat non conducteur. Pour cette même intensité de CE et un substrat conducteur à l'intérieur de la ruche, on observe une agressivité et une production de propolis* accrues des abeilles.

3.1.3 INDUCTION DE COURANT

Yes'kov et al (1976) ont démontré qu'un CE peut induire un courant à l'abeille. Un CE de 500 V/cm à une fréquence de 1 000 Hz induit un courant de 10^{-7} A. Es'kov et al (1979) ont observé une induction de courant dans l'abeille de $0,53 \mu\text{A/kHz}$ à une fréquence de 500 Hz. Bindokas et al (1989), quant à eux, ont observé une induction de courant dans l'abeille *Apis mellifera* lorsque celle-ci est en contact avec un substrat conducteur exposé à un CE de 100 kV/m. Une induction de courant dans la ruche à un CE de 150 V/cm d'une fréquence de 500 Hz a également été observé par Es'kov et al (1990).

Yes'kov (1993) a comparé le seuil de réponse des larves et des adultes ouvrières exposées à des fréquences variant de 10 à 5 000 Hz. La sensibilité au courant induit est plus élevée chez l'adulte que chez la larve. Lorsque la fréquence passe de 10 à 5 000 Hz, le seuil de réponse de l'adulte est 137 fois plus élevé que celui de la larve ($P = 0,999$). Yes'kov conclut que la perception est basée sur l'induction de courant.

3.2 LES ÉTUDES SUR LES EFFETS DES CHAMPS ÉLECTRIQUES CONTINUS

Il y a très peu de données sur les CE continus et les effets sur le comportement des abeilles mellifères.

La seule étude retrouvée dans le corpus est celle de Es'kov et al (1990). Leur étude démontre qu'un CE continu d'une intensité de 150 V/cm n'affecte pas les abeilles, *Apis mellifera*. De plus, les CE continus ne génèrent pas de courant induit n'entraînant pas de chocs électriques pour les abeilles, réduisant ainsi le comportement d'agressivité et de piqûres entre elles.

3.3 LES ÉTUDES SUR LES EFFETS DES AUTRES CATÉGORIES DE CHAMPS ÉLECTRIQUES

Des expériences ont aussi été réalisées sur les effets biologiques selon d'autres catégories de CE, soit pulsé, soit rotatif.

Es'kov et al (1979) ont démontré que les abeilles réagissent différemment face à un CE pulsé comparativement à un CE continu dans le temps.

Un CE continu dans le temps d'une intensité de 79 V/cm et d'une fréquence de 300 Hz pendant une minute provoque une augmentation de la température et une diminution de la concentration en CO₂ respectivement de $2,1^{\circ} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ et de $0,9 \pm 0,14 \%$ dans la ruche. Sous un CE pulsé, la température augmente et la concentration en CO₂ à l'intérieur de la ruche diminue respectivement de $1,2 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ et de $0,5 \pm 0,1 \%$ sous les mêmes conditions.

Es'kov et al (1990) ont étudié le comportement des abeilles *Apis mellifera* en présence de CE rotatifs. Dans un CE unidirectionnel d'une fréquence de 500 Hz, le seuil de stimulation des changements de comportement (agressivité et piqûres) est de 304 ± 19 V/cm. Dans un CE rotatif, le seuil est de $153, \pm 18$ V/cm. Les abeilles sont donc deux fois plus sensibles lorsque le CE est rotatif.

Le tableau 4 synthétise les études réalisées sur les CE constants ou variables dans le temps.

Tableau 4

EFFETS DES CHAMPS ÉLECTRIQUES SUR LES ABEILLES

CONDITIONS EXPERIMENTALES				ESPECE		PARAMETRES - EFFETS												REFERENCE	
Site	CE (kV/m)	Fréquence (Hz)	Temps d'exposition (h)	Apis mellifera	Apis mellifera mellifica	PHYSIOLOGIE						COMPORTEMENT			PRODUCTION		INDUCTION		
						Métabolisme	Poids net	Consommation en CO ₂	Mortalité	Motricité	Température	Vibrations des organes sensoriels	Comportement social	Piqûres	Sons	Comblement des alvéoles	Propolisation		Induction d'un courant
Laboratoire	0-50	50			•	+/-							+/-						Altmann et al 1976
LHT	10-100	60	7-10	•					+				+/-			+/-	+		Bindokas et al 1988a
LHT	10-100	60	7-10	•					+				+/-			+/-	+		Bindokas et al 1988b
Laboratoire	100-350	60		•						+/-		+/-	+/-	+/-				+	Bindokas et al 1989
Laboratoire	0,5-1,4	100	0,017												+				Es'kov et al 1979
Laboratoire	3,5-7,9	300-500	0,017					-			+				+				Es'kov et al 1979
Laboratoire	10	500	0,17				+												Es'kov et al 1979
Laboratoire	500	100-1000																+/-	Es'kov et al 1979
Laboratoire	0-15	500		•						+/-	+/-		+/-	+/-	+			+/-	Es'kov et al 1990
Laboratoire	5,0-50	50-20		•						0		+							Es'kov et al 1990
Laboratoire	15			•						0	0		0		0			0	Es'kov et al 1990
LHT	7	60	2736	•			-		+	-	+					0	+		Greenberg et al 1981a
LHT	0-7	60	3336				+/-		+/-								+/-		Greenberg et al 1981b, 1985
Laboratoire	50	1000																+	Yes'kov et al 1976
Laboratoire		10-5000																+/-	Yes'kov et al 1993

Légende:

0: aucun effet
+: stimulation

-: inhibition
+/-: fonction cond exp.

IV. LES EFFETS BIOLOGIQUES DES CHAMPS MAGNÉTIQUES SUR LES ABEILLES

Ce chapitre résume l'état des connaissances concernant les effets des CM sur la physiologie et le comportement des abeilles. Il semble y avoir une interrelation entre les changements d'orientation et les changements métaboliques des abeilles sous différentes conditions de CM (Martin et al, 1989). Cependant, l'influence des CM n'est pas restreinte à l'orientation. Le CM influence plusieurs activités ou comportements des abeilles, soit la construction du rayon*, la production de cire, de miel et de propolis*, le butinage* ainsi que la danse de communication (Gould, 1978). Selon certaines observations, les rayons des essaims nouvellement formés s'orientaient dans la même direction que la composante horizontale du CMT (Crane).

4.1 LES ÉTUDES SUR LES EFFETS DES CHAMPS MAGNÉTIQUES ALTERNATIFS

4.1.1 PHYSIOLOGIE

Caldwell et al (1968) ont observé une réponse du système nerveux entraînant dans certains cas une narcolepsie* chez les abeilles *Apis mellifera ligustica* soumises à des CM variant selon l'intensité du CM (0,5 G à 300 G) et du temps d'exposition pour une fréquence de 60 cycles/seconde.

Martin et al (1989) ont étudié l'influence du CM sur le vieillissement et la durée de vie de l'abeille *Apis mellifera carnica*. Un CM d'une intensité de 1,04 Oe d'une fréquence de 5 Hz (intensité du CMT est de 0,45 Oe) provoque une diminution du rythme des danses.

4.1.2 COMPORTEMENT

Korall et al (1987) ont observé que l'activité de butinage* et l'orientation des abeilles *Apis mellifera mellifica* est influencé par un CM de 20 γ d'une fréquence de 10 Hz. Ces effets sont cependant minimes, les abeilles utilisant d'autres systèmes d'orientation tel la gravité.

Walker et al (1989c) ont comparé la réussite du conditionnement à se diriger vers des solutions de sucrose sous différentes conditions de CM. Ils ont observé aucune différence dans le comportement des abeilles entre un CM pulsé et un CM alternatif. Aucune preuve d'un conditionnement ne peut être faite mais le comportement des abeilles indique une détection du CM. Les abeilles stationnaires réagissent différemment des abeilles en vol. Les abeilles en vol sont attirées vers la bonne source lorsque soumises sous l'influence du CM ($P = 0,0017$). Les abeilles stationnaires ne répondent pas mais sont capables de détecter la présence du CM. Ces dernières semblent répondre davantage à la lumière.

4.2 LES ÉTUDES SUR LES EFFETS DES CHAMPS MAGNÉTIQUES CONTINUS

4.2.1 PHYSIOLOGIE

Hepworth et al (1980) ont réalisé des études sur un CM continu de 3,75 Oe appliqué de façon intermittente. Ils sont venus à la conclusion que les CM ont des répercussions variables sur les mouvements ambulatoires des abeilles *Apis mellifera*, particulièrement si le CM est intermittent.

Les études sur les effets des CM sur le développement larvaire et la croissance des abeilles sont peu nombreuses. Prolic et al (1986) ont déterminé le temps pour la métamorphose de la larve au stade d'ouvrière sous différentes conditions d'exposition aux CM. La métamorphose de la larve au stade d'ouvrière est de $6,55 \pm 0,74$ jours pour

le témoin et de $4,9 \pm 0,59$ jours pour les abeilles exposées à un CM de 375 mT. Le CM affecte le métabolisme durant la métamorphose, accélérant le processus de développement de 25 %. **Martin et al (1989)** a observé une diminution de l'activité de vol dans un CM horizontal de 0,40 à 1,45 Oe. Sous l'influence d'un CM de 1,45 Oe, les abeilles se comportent comme des abeilles de cinq (5) jours plus vieilles.

Schiff (1991) a étudié les effets de la variation des modulations du CMT. Des décharges au niveau des neurones des abeilles sont importantes lorsqu'un CM de 30 μ T d'une intensité de 25 à 35 % du CMT est superposé à celui-ci.

4.2.2 COMPOTEMENT

La plupart des études effectuées sur les CM continus concernent le CMT et ses effets sur le rythme et l'angle de la danse de communication.

Les premières études des effets des CM sur le comportement ont été réalisées par **Lindauer et al**. La direction des danses se réfèrent à des déviations qui suivent un patron diurne typique. Ils ont étudié les effets sur la direction de la danse lorsqu'on modifie les conditions de CMT. **Lindauer et al (1968)** ont observé un changement dans les déviations lorsque le rayon* et les abeilles sont retournées d'un angle de 90°, d'une position est-ouest à une position nord-sud. Dans la position est-ouest, la danse est affectée par le vecteur vertical du CMT tandis que dans une position nord-sud, la danse est affectée par les vecteurs vertical et horizontal du CMT. Les chercheurs ont également étudié l'influence d'un CM sur la direction de la danse de communication effectuée sur un rayon vertical. Lors de cette étude, ils avaient observé des changements dans la déviation de l'angle des danses des abeilles lorsque celles-ci sont soumises à un CM de 1 000 γ . L'annulation du CMT par sa compensation à moins de 4 % de son intensité initiale fait disparaître les déviations observées au niveau de l'angle des danses de communication.

Tomlinson et al (1980) ont observé une variation dans le temps de danse sous un CM de 70 G. Sous celui-ci, l'abeille prend plus de temps pour terminer sa danse. La saison n'influence pas ce comportement.

Kirschvink et al (1981) ont observé que lorsque la ruche est inclinée et que les abeilles travaillent sans référence de gravité sur des rayons* horizontaux (comparativement à des rayons verticaux), les danses sont effectuées dans toutes les directions. Après deux (2) ou trois (3) semaines de travail sur des rayons horizontaux, les abeilles s'orientent selon le CM et non selon la gravité. Elles ne semblent pas faire la différence entre le nord et le sud.

Leucht (1984) a étudié le comportement des abeilles *Apis mellifera carnica* lorsque les danses sont effectuées du côté est du rayon. En présence de la lumière, la déviation de la danse est maximale lorsque la direction des danses correspond à l'inclinaison du CMT. La réaction à la lumière arrête lorsque l'angle entre le soleil et la source de nourriture est de $20,3^\circ$ par rapport à la verticale. En présence d'un CMT de 0,5 G compensé (annulé), l'angle de la danse est de $30,17^\circ$ et en présence d'un CMT amplifié de 2 G, aucun changement dans l'angle de la danse n'est observé.

D'après Neumann (1988), le temps requis pour la recherche de nourriture varie également selon le CM. Sans la présence d'un CM, les abeilles *Apis mellifera* vont se nourrir selon un écart de temps de 120 minutes. Sous un CMT, les butineuses* vont se nourrir avec un écart de temps variant de 48 à 360 minutes et dans un CM artificiel de 0,88 Oe, les écarts varient de 62 à 284 minutes. Aucune corrélation ne peut être faite avec la journée ou l'heure de la journée. Ceci contredit l'étude de Korall et al (1987) qui suggérait un lien entre l'activité des abeilles et les champs astrophysiques et géomagnétiques.

Selon Martin et al (1989), le rythme moyen des danses sous un CMT est de 5,93 $\pm$ 0,44 circuits/seconde. L'amplification et la compensation du CMT à 2 % de son

intensité totale provoquent une baisse du rythme des danses. Les effets des CM sur le butinage* des abeilles *Apis mellifera carnica* ont également fait l'objet d'études par ces chercheurs. Ils ont observé une activité de vol fortement réduite sous un CM statique hétérogène. Sous des conditions de luminosité constante, les butineuses volant entre la source et la ruche montrent une diminution de leur activité de 40 % lorsque soumises à des CM hétérogènes et des CM statiques homogènes amplifiés (de 0,4 à 1,45 Oe par rapport à 0,4 Oe). Ceci a pour conséquence une durée de vie de l'abeille de 60 % plus longue.

Walker et al (1985) ont conditionné les abeilles, *Apis mellifera*, à se nourrir à des sources de solution de sucrose de diverses concentrations où il y a un CM et ont noté les visites subséquentes vers les sources contenant, cette fois, de l'eau potable. Les résultats démontrent qu'en présence d'un CM, les abeilles préfèrent la source de sucrose où elles ont reçu la solution de sucrose la plus concentrée, soit 50 % ($P = 0,001$). **Walker et al (1989a)** ont entraîné des abeilles portant un fil magnétisé sur le dos à se nourrir sur une source de sucrose. La performance des abeilles est très faible. La différence entre les abeilles témoins et les abeilles magnétisées est significative ($P = 0,04$).

Leucht et al (1990) ont étudié le rôle de la polarité du CMT dans la direction des danses effectuées par les abeilles. En inversant la polarité du CMT, ils ont observé une confusion de la part des abeilles *Apis mellifera mellifica*. En effet, celles-ci, lors de leur sortie à l'extérieur de la ruche, voient un ciel correspondant à l'hémisphère nord mais un CM correspondant à l'hémisphère sud. Après 60 minutes dans ces nouvelles conditions d'exposition, le pourcentage des danses orientées vers la source varie entre 50 et 60 %. Ceci leur permet de conclure que les abeilles sont capables de détecter la polarité du CM. En effet, ce dernier sert de système de référence lorsque la vision est restreinte. Leurs expériences sur des abeilles *Apis mellifera mellifica* confirment l'influence de lumière et du CM sur le recrutement des butineuses. En présence d'un CMT, on a un recrutement de 8 abeilles/15 min en conditions de lumière

et de 12 abeilles/15 min en conditions de noirceur. En présence du CM compensé de 42 000 nT, on a 13 abeilles/15 min et 17 abeilles/15 min respectivement. Le recrutement est donc plus élevé dans un CM compensé.

Hogg (1991) a également étudié l'influence du CMT dans la direction des danses des abeilles *Apis mellifera* lors des activités de butinage*. Lorsque la ruche est placée dans un axe nord-sud, les jeunes butineuses prennent automatiquement la sortie nord, la sortie sud étant très limitée. Suite à une rotation de 180° de la ruche en conditions de noirceur, un groupe d'abeilles utilisent la sortie sud. En présence de lumière, les abeilles hésitent à l'entrée de la sortie nord pour finalement se diriger vers la sortie sud, soit le vrai nord. Les nouvelles recrues pour le butinage choisissent le nord à l'aide du CMT.

Schmitt et al ont noté qu'en présence du CMT, les abeilles se dirigent normalement vers l'est ($P = 0,01$); en appliquant un CM artificiel, les abeilles ne démontrent pas ce comportement. Les abeilles, sortant de la ruche dans le noir, se servent du CMT pour s'orienter n'ayant aucun repère visuel. Un CM artificiel vient influencer et nuire à leur sens de l'orientation. **Schmitt** obtient des résultats différents de **Leutch (1984)**. En présence d'un CMT, l'angle de la danse est de $31,3 \pm 2,1^\circ$. Sous un CM artificiel, l'angle de la danse est de $63,8 \pm 3,0^\circ$. Cependant, les deux auteurs confirment un angle de la danse plus grand de la part des abeilles *Apis mellifera* lorsque soumises à un CM artificiel.

4.2.3 INDUCTION DE COURANT

Une seule étude sur l'induction de courant par un CM a été inventoriée dans le corpus. **Walker et al (1989d)** ont entraîné des abeilles *Apis mellifera* à répondre à de faibles changements d'intensité de CM. Le seuil de sensibilité vis à vis un CM est une intensité représentant 0,6 % du CMT.

4.3 LES ÉTUDES SUR LES EFFETS DES AUTRES CATÉGORIES DE CHAMPS MAGNÉTIQUES

Korall et al (1988) ont étudié les effets d'un CM pulsé sur la déviation de l'angle de la danse. L'application d'un CM pulsé de l'ordre de 2 000 γ à 250 Hz en direction de l'inclinaison du CMT, provoque un changement de direction de l'angle de la danse de 10° à un CM de 1400 γ . En annulant la présence du CM (i.e. en additionnant le CM pulsé à un CMT compensé à moins de 4 %), aucun changement dans la direction n'apparaît. Ils ont également observé un seuil d'intensité de CM où la direction de la déviation de l'angle des danses est soit négative ou positive par rapport à l'angle de la danse prédite. À un CM inférieur à 2 000 γ , la déviation de l'angle de la danse est négative et à un CM supérieur à 2 000 γ , la déviation est positive.

Le tableau 5 synthétise les études réalisées sur les CM constants ou variables dans le temps.

Tableau 5

EFFETS DES CHAMPS MAGNÉTIQUES SUR LES ABEILLES

CONDITIONS EXPERIMENTALES						ESPECE			PARAMETRES - EFFETS										REFERENCE
Site	CM (mT)	Fréquence (Hz)	CM pulsé	CMT	Temps d'exposition (h)	Apis mellifera	Apis mellifera mellifica	Apis mellifera carnica	PHYSIOLOGIE					COMPORTEMENT			INDUCTION		
									Motricité	Développement	Mortalité	Neurone	Narcolepsie	Température	Butinage	Répulsion	Dances	Comportement social	
Laboratoire	0.05 - 30	60				.						+							Caldwell et al 1968
Laboratoire	0.37				2	.			+/-										Hepworth et al 1980
Laboratoire	1.4 - 2.0	250	.														+/-		Korall et al 1988
Laboratoire	0 - 2.0 x 10 ⁻⁵	10					.							+/-					Korall et al 1987
Laboratoire	0.2			.				.					o				o		Leucht 1984
Extérieur et laboratoire	42			.			.										+/-	+	Leucht et al 1990
Extérieur et laboratoire	0.001			.													+/-		Lindauer et al 1968
Laboratoire	0.14				12			.		+							-		Martin et al 1989
Extérieur et laboratoire				.	12			.										-	Martin et al 1989
Extérieur	0.008 - 0.1	5						.		+	+							-	Martin et al 1989
Laboratoire	0.013 - 0.09			.		.									+/-				Neumann 1988
Laboratoire	375						.			+									Prolic et al 1986
Laboratoire	0.03			.		.						+							Schliff 1991
Laboratoire				.		.												+	Schmitt et al
Laboratoire	7																	-	Tomlinson et al 1980
Extérieur et laboratoire						.											-		Walker et al 1985
Extérieur et laboratoire	0.35					.											-		Walker et al 1989a
Extérieur et laboratoire	0 - 0.1	0.01 - 10				.											-	o	Walker et al 1989c
Extérieur et laboratoire	2.6 x 10 ⁴					.													Walker et al 1989d

Légende:

o: aucun effet
+: stimulation-: inhibition
+/-: fonction cond. exp.

V. LES EFFETS BIOLOGIQUES DES CHOCS SUR LES ABEILLES

Les effets biologiques des chocs électriques sur les abeilles sont dus au courant présent dans la ruche. On attribue ces facteurs à la présence de CE dans la ruche qui induit un courant. Ce courant induit est influencé par l'humidité et par conséquent la teneur en eau dans le miel, la cire et la propolis* (Greenberg et al, 1981).

Les premières études sur les chocs électriques ont été réalisées par Galuszka et al (1969). Ils ont soumis des abeilles à des tensions de 20 à 80 V et à des fréquences de 20 à 5 000 Hz. Plus la tension est élevée plus le choc électrique est perçu rapidement par l'abeille. Le temps de réponse le plus court est obtenu à des fréquences variant de 30 à 100 Hz. À une fréquence de 50 Hz, une tension de quelques volts ne cause pas de chocs électriques. Une dizaine de volts cause des chocs variant dans le temps et une tension au-dessus de 40 V provoque un choc électrique presque immédiatement. En courant continu, la durée de l'état de choc est court et indépendant de la tension.

Bermant et al (1973) ont étudié le comportement des abeilles face aux chocs électriques reçus en conditions de lumière et de noirceur à un courant de 0,5 mA. Les abeilles sont attirées par la lumière et passent plus de temps en présence de lumière lorsque celle-ci est intense ($P = 0,001$). Les chocs électriques donnés au niveau des pattes ont eu un effet systématique sur le phototactisme*. Les abeilles ayant reçu les chocs électriques du côté lumineux passent plus de temps de ce côté ($P = 0,001$).

Les chocs électriques reçus diffèrent selon le substrat où se situe l'abeille. Greenberg et al (1985) ont évalué les chocs électriques perçus lors de la marche sur des conducteurs isolés et sur des substrats conducteurs non isolés sous une ligne à haute tension. Lors d'essais effectués sur des substrats conducteurs non isolés, les abeilles s'agitent et ont des sautilllements sur place à des courants induits dans la ruche de 100 à 125 nA. Une déposition de propolis importante à l'entrée de la ruche est aussi

observée à des courants induits de 100 à 125 nA. Sur des substrats conducteurs isolés, le seuil de réponse au courant induit dans la ruche se situe entre 250 à 375 nA.

Bindokas et al (1988a, b) ont réalisé des expériences sur les chocs électriques perçus lors de la marche par les abeilles *Apis mellifera* à l'intérieur de la ruche. Des courants sont induits au niveau de conducteurs installés à l'intérieur de la ruche. À un courant induit de 275 à 350 nA, les abeilles ont un comportement variable. À un courant induit de 600 nA, on observe une propolisation* anormalement élevée de la part des abeilles et à 900 nA, les abeilles se piquent entre elles. Lorsque les abeilles passent en petits groupes sur les conducteurs, les effets sont nuls. Ceci est probablement dû à la distribution du courant induit et aux grandes surfaces de contact possible. Le seuil de réponse (comportement variable) pour les groupe d'abeilles est de 600 nA, soit deux fois plus élevé que pour les abeilles passant sur les substrats conducteurs individuellement.

Bindokas et al (1989) ont repris ces expériences en laboratoire. Sur un substrat non isolé, un courant induit au niveau des pattes de 480 nA provoque des sautilllements sur place et un courant induit de 720 nA provoque une certaine torpeur et une forte diminution de l'activité motrice chez les abeilles. Sur un substrat isolé, on observe des vibrations des organes sensoriels mais aucun changement au niveau du comportement sous les mêmes conditions. L'impédance des abeilles, c'est-à-dire sa résistance, est 5 fois plus faible sur un substrat non isolé comparativement à un substrat isolé. Les valeurs de seuils sont beaucoup plus élevées en laboratoire. Ceci est dû aux conditions d'application optimales sans facteurs ou contraintes extérieures.

Es'kov et al (1990) ont observé le retrait du proboscis* lorsque l'abeille *Apis mellifera* est exposée à un courant continu de 0,1 mA. Un courant alternatif de 0,2 mA d'une fréquence de 50 Hz provoque également le retrait du proboscis.

Le tableau 6 synthétise les études réalisées sur les chocs électriques.

Tableau 6

EFFETS DES CHOCS ÉLECTRIQUES SUR LES ABEILLES

CONDITIONS EXPERIMENTALES					ESPECE	PARAMÈTRES - EFFETS						RÉFÉRENCE
Site	Tension (V)	Fréquence (Hz)	Courant induit (A)	Temps d'exposition (h)		PHYSIOLOGIE			COMPORTEMENT		PRODUCTION	
					Retrait du proboscis	Motricité	Mortalité	Comportement social	Piqûres	Propolisisation		
Laboratoire			5 x 10 ⁻⁴						+			Bermant et al 1973
Laboratoire			2,7 - 9 x 10 ⁻⁷	7-10	•				+/-	+/-	+/-	Bindokas et al 1988b
Laboratoire			4,8 - 7,2 x 10 ⁻⁷		•		-		0			Bindokas et al 1989
Laboratoire		50 - 1000	2 - 7 x 10 ⁻⁴		•	+						Es'kov et al 1979
Laboratoire			1 x 10 ⁻⁴		•	+						Es'kov et al 1990
Laboratoire	20 - 80	20 - 5000							+/-			Galuszka et al 1969
LHT			1 x 10 ⁻⁷				+		+		+	Greenberg et al 1985

Légende:

- 0: aucun effet
- +: stimulation
- : inhibition
- +/-: fonction cond. exp.

CONCLUSION

La revue de littérature des dernières trente (30) années sur les effets biologiques des champs électriques et magnétiques démontre des répercussions sur le comportement des abeilles mellifères soumises à des champs électromagnétiques.

Des expériences en laboratoire et sous des lignes à haute tension ont permis de discerner certains phénomènes et facteurs reliés aux champs électriques et magnétiques, constants ou variables dans le temps ainsi qu'aux chocs électriques perçus à l'intérieur de la ruche. Les effets se situent au niveau de la physiologie, de la durée de vie, du comportement social, de la production de miel, de couvain* et de propolis* ainsi qu'à une induction de courant à l'intérieur de la ruche.

Les champs électriques alternatifs

- Les effets des CE alternatifs observés chez les abeilles sont une diminution de la production de miel et de cire et du taux de survie hivernale ainsi qu'une augmentation de la propolisation, de l'agressivité et de la mortalité des reines (Greenberg et al, 1981a).
- Le seuil d'effets biologiques sous une ligne à haute tension de 765 kV à 60 Hz est un CE d'une intensité variant de 2 kV/m à 4 kV/m (Greenberg et al, 1981b).
- Les effets sont apparents à des CE de 7 à 12 kV/m. Ces CE correspondent aux CE présents sous une ligne à haute tension de 765 kV à 60 Hz (Greenberg et al, 1985).
- À un CE de 35 V/cm d'une fréquence de 500 Hz, la température augmente de 3,6°C et la concentration en CO₂ diminue de 2,0 % à l'intérieur de la ruche après une heure d'exposition (Es'kov et al, 1979).

- Une augmentation de la production des abeilles de 30 fois est observée à un CE de 100 V/cm d'une fréquence de 500 Hz (Es'kov et al, 1979)
- Un CE de 500 V/cm à une fréquence de 1 000 Hz induit un courant de 10^{-7} A (Yes'kov et al, 1976).

Les champs électriques continus

- Un CE continu d'une intensité de 15 kV/m n'affecte pas les abeilles mellifères *Apis mellifera* (Es'kov et al, 1990).
- Les CE continus ne génèrent pas de courant induit n'entraînant pas de chocs électriques pour les abeilles, réduisant ainsi le comportement d'agressivité et de piqûres entre elles (Es'kov et al, 1990).

Les champs magnétiques alternatifs

Peu d'études existent sur les champs magnétiques alternatifs.

- Un CM d'une intensité de 1,04 Oe d'une fréquence de 5 Hz provoque une diminution du rythme des danses correspondant à l'activité des abeilles âgées de cinq (5) jours (Martin et al, 1989).
- Les abeilles en vol sont attirées vers la bonne source lorsque soumises sous l'influence du CM ($P = 0,0017$). Les abeilles stationnaires ne répondent pas à la présence du CM de 10 Hz mais sont capables de le détecter (Walker et al, 1989c).

Les champs magnétiques continus

La plupart des études effectuées sur les CM continus concernent le CMT et ses effets sur le rythme et l'angle de la danse de communication.

- CM traversent et induisent de faibles courants dans les tissus biologiques.
- L'annulation du CMT par sa compensation à moins de 4 % de son intensité initiale fait disparaître les déviations observées au niveau de l'angle des danses de communication (Lindauer, 1968).
- La déviation est plus importante lorsque l'abeille est soumise à un CM artificiel avec une différence d'environ 10° (Leucht, 1984).
- La croissance de l'abeille est augmentée de 25 % sous un CM continu de 375 mT (Prolic et al, 1988).
- Les CM ont des répercussions variables sur les mouvements ambulatoires des abeilles *Apis mellifera*, particulièrement si le CM est intermittent (Hepworth, 1980).

Les chocs électriques

- Les chocs électriques perçus par les abeilles sont reliés au courant induit dans la ruche.
- À une fréquence de 50 Hz, une tension de quelques volts ne cause pas de chocs électriques. Une dizaine de volts cause des chocs variant dans le temps et une tension au-dessus de 40 V provoque un choc électrique presque immédiatement. En courant continu, la durée de l'état de choc est court et indépendant de la tension (Galuszka et al, 1969).
- Lors des essais effectués sous une ligne à haute tension sur des conducteurs non isolés, les abeilles s'agitent et ont des sautilllements sur place à des courants induits de 100 à 125 nA. Une déposition de propolis importante à l'entrée de la ruche est aussi observée à des courants induits de 100 à 125 nA. Sur des

substrats conducteurs isolés, le seuil de réponse est un courant induit variant de 250 à 375 nA (Greenberg et al, 1985).

Mesures d'atténuation

Diverses solutions ont été avancées pour diminuer ou éliminer les effets des champs électriques alternatifs.

- **Welleinstein (1973)** propose de placer les ruches à une distance minimale de 50 à 100 m de la limite de l'emprise d'une ligne à haute tension.
- **Bindokas et al (1988a)** suggèrent de protéger les ruches par des mises à la terre à l'aide de cages. Cependant, lors de leurs expériences sous une ligne à haute tension de 765 kV à courant alternatif, ils ont démontré qu'il n'y avait aucun effet biologique à une distance minimale de 23 m de la limite de l'emprise.

En bref, les champs électriques et magnétiques peuvent avoir des effets biologiques sur les abeilles. Les effets sont plus prononcés sous des champs électriques et magnétiques en courant alternatif. Cependant, les résultats des études effectuées sur les champs électriques continus sont fragmentaires. Des mesures d'atténuation telles le blindage et une distance appropriée d'une ligne à haute tension en courant alternatif diminuent ou annulent les effets observés.

Annexe

BIBLIOGRAPHIE ANNOTÉE

ALTMANN, V. G., U. WARNKE, 1976. Der Stoffwechsel von Bienen (*Apis mellifica* L.) im 50 Hz-Hochspannungsfeld. Z. ang. Ent., 80 : 267-271

ESPÈCE:

Apis mellifera mellifica

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 50 Hz

Intensité du CE: 0 à 50 kV/m

RÉSULTAT(S):

- Sous un CE de 10 kV/m d'une fréquence de 50 Hz, le métabolisme des abeilles varie.
- À des CE de 20 à 40 kV/m (50 Hz), le métabolisme des abeilles augmente avec l'augmentation de l'intensité du CE.
- À un CE de 50 kV/m (50 Hz), les abeilles se piquent entre elles.

BERMANT, G., M. MCNEIL, F. N. ASHBY, 1973. Honey Bee Behavior: Response to Light and Electric Shock. Behavioral Biology, 9 : 505-509

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Courant induit: 0,5 mA

Intensité lumineuse: 7,5 W

RÉSULTAT(S):

- Temps passé du côté sombre, à une intensité de 50 %, est de 30,9 sec/min à 32,4 sec/min ($P < 0,001$).
- Temps passé du côté sombre à des intensités de 80 % et 100 % est de 19,2 sec/min à 22,9 sec/min et de 16,4 sec/min à 17,8 sec/min respectivement ($P < 0,001$).
- Chocs électriques donnés du côté lumineux provoquent une réaction semblable à l'intensité lumineuse de 50 % ($P < 0,001$).
- Chocs électriques donnés du côté sombre provoquent une réaction semblable à l'intensité lumineuse de 100 % ($P < 0,001$).

BINDOKAS, V. P., J. R. GAUGER, B. GREENBERG, 1989. Laboratory Investigations of the Electrical Characteristics of Honey Bees and their Exposure to Intense Electric Fields. Bioelectromagnetics, 10 : 1-12

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 60 Hz

Intensité du CE: 0 à 350 kV/m

RÉSULTAT(S):

- Vibrations au niveau des antennes et des ailes à des CE de 150 kV/m.
- Vibrations au niveau des poils se rajoutent à des CE de 200 kV/m.
- Courant de 240 nA est induit lors d'un contact avec un substrat conducteur dans un CE de 100 kV/m.
- Sautillements sur place et piqûres à un CE de 200 kV/m et un courant induit de 480 nA.
- Motricité réduite à des CE de plus de 300 kV/m et à des courants induits de 720 nA.
- Exposition à des CE sur un substrat non conducteur montre des vibrations au niveau des membres mais aucun changement au niveau du comportement.
- Impédance des abeilles sur un substrat non conducteur varie de 0,58 à 10 MΩ.
- Impédance des abeilles sur des substrats conducteurs varie de 0,045 à 2,1 MΩ.

BINDOKAS, V. P., J. R. GAUGER, B. GREENBERG, 1988a. Exposure Scheme Separates Effects of Electric Shock and Electric Field for Honey Bees, *Apis mellifera* L. Bioelectromagnetics, 9 : 275-284

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

LHT

COND. EXP.:

Fréquence: 60 Hz

Intensité du CE extérieur: 7 kV/m

Intensité du CE induit dans les porches: 10 à 100 kV/m

Courant induit dans les porches: 25 à 275 nA (1983)

275 à 1400 nA (1984)

RÉSULTAT(S):

- Sur un substrat non conducteur, un CE de 100 kV/m ne cause pas d'effets.

- Exposition en conditions humides provoque une augmentation des comportements agressifs et de la mortalité.
- CE appliqués sur un groupe d'abeilles n'ont eu aucun impact sur le poids net.
- Abeilles peuvent emmagasiner des CE.
- Des courants de 240 nA peuvent être induits à des CE de 100 kV/m.
- Un courant induit situé entre 275 nA et 350 nA provoque des chocs électriques.
- À un courant de 600 nA, on observe des dépôts anormaux de propolis.
- À un courant de 900 nA, les abeilles se piquent entre elles.

BINDOKAS, V. P., J. R. GAUGER, B. GREENBERG, 1988b. Mechanism of Biological Effects Observed in Honey Bees (*Apis mellifera*, L.) Hived Under Extra-High-Voltage Transmission Lines: Implications Derived From Bee Exposure to Simulated Intense Electric Fields and Shocks. Bioelectromagnetics, 9 : 285-301

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

LHT (fréquence de 60 Hz, CE de 7 kV/m)

COND. EXP.:

Fréquence: 60 Hz

Intensité du CE extérieur: 7 kV/m

Intensité du CE induit dans les porches: 10 à 100 kV/m

Courants induits dans les porches: 25 à 275 nA (1983)

275 à 1 400 nA (1984)

Temps d'exposition: 7 heures/jour (1983) et 10 heures/jour (1984)

RÉSULTAT(S):

- CE de 100 kV/m ne cause pas d'effet nuisible au comportement ni au poids total de la colonie.
- Exposition sur un substrat conducteur à des CE de 50 kV/m provoque une augmentation des comportements agressifs et de la mortalité.
- Effets biologiques observés sont principalement dus aux chocs électriques résultant du courant induit dans les ruches plutôt qu'au CE ambiant.
- Comportement variable à des courants induits de 275 nA à 350 nA.
- Seuil de réponse comportementale pour les groupes d'abeilles est de 600 nA.
- Propolisation anormale à 600 nA.
- Répulsion très prononcée et piqûres à des courants de 900 nA.

BONNEVILLE POWER ADMINISTRATION, 1990. Ostrander E/MF Environmental Study - Projet Brief. Bonneville Power Administration, 12 p

Information complémentaire.

CALDWELL, W. E., F. RUSSO, 1968. An Exploratory Study of the Effects of an A.C. Magnetic Fields upon the Behavior of the Italian Honeybee (*Apis mellifica*). The Journal of Genetic Psychology, 113 : 233-252

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence : 60 cycles/seconde

Densité du flux magnétique: 0,5 à 300 G

RÉSULTAT(S):

- Abeille a une réponse nodale ou présente une narcolepsie qui varie selon le temps d'exposition.

CARSTENSEN, E. L., 1987. Acute Responses of Tissues to ELF Electric Fields. pp 116-117 dans Biological Effects of Transmission Line Fields, Elsevier Science Publishing Co. Inc, New York, 391 p

Revue de littérature.

COLIN, M. E., D. RICHARD, S. CHAUZY, 1991. Measurement of Electric Charges Carried by Bees: Evidence of Biological Variations. Journal of Bioelectricity, 10 : 17-32

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

RÉSULTAT(S):

- 7 % des abeilles possèdent une charge négative, les butineuses représentent 9,7 % et les ouvrières d'hiver représentent 4,3 %.
- Charge observée sur les butineuses et les ouvrières d'hiver varie de $+ 26,8 \pm 39,5$ pC et de $+ 153,2 \pm 104,8$ pC respectivement.
- Aucun lien entre la charge nette présente dans l'abeille et l'heure de la journée.

CRANE, E., Magnetism and bees. : 174-175

Revue de littérature.

ERICKSON, E. J., 1982. Evidence for Electrostatic Enhancement of Odor Receptor Function by Worker Honeybee Antennae. Bioelectromagnetics, 3 : 413-420

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

RÉSULTAT(S):

- Charges électriques statiques présentes au niveau des antennes attirant les molécules chargées des substances odorantes.

ES'KOV, E. K., G.A. MIRONOV, 1990. Low-Frequency Electric Field Perception Mechanisms of the Honey Bee. Zoologicheskii Zhurnal, 5 : 53-59

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 0 à 1 000 Hz

Intensité du CE: de 0 à 500 V/m

Intensité du courant: de 1 à 10 mA

RÉSULTAT(S):

- L'activité locomotrice, la température, les sons émis et la présence des abeilles à l'entrée de la ruche augmentent à un CE d'une intensité de 40 à 60 V/cm et une fréquence de 500 Hz.
- Augmentation de la température de 4 à 8 °C et des son émis de 6 à 10 dB.
- Induction d'un CE dans la ruche de 150 ± 20 V/cm.
- CE continu ne stimule pas les abeilles même à un champ de 150 V/cm et ne génèrent pas de courant induit.
- Changements comportementaux dans un CE alternatif de 304 ± 19 V/cm ($C_v = 25\%$) et dans un CE tournant de 153 ± 18 V/cm ($C_v = 47\%$).
- À un CE d'une intensité de 50 V/cm (fréquence de 20 Hz), le sensillum trichodeum dévie de $0,2 \pm 0,1^\circ$ ($C_v = 139\%$).
- À un CE de 200 V/cm, l'angle des vibrations du sensillum trichodeum dévie de $0,8 \pm 0,1^\circ$ ($C_v = 53\%$) et à un CE de 500 V/cm, il dévie de $4,9 \pm 0,3^\circ$ ($C_v = 17\%$).
- Courant continu de 0,1 mA provoque le retrait du proboscis.
- Courants alternatifs de 0,2 mA à une fréquence de 50 Hz, de 0,24 mA à une fréquence de 200 Hz, de 0,4 mA à 500 Hz et de 0,75 mA à 1000 Hz provoquent le retrait du proboscis.

ES'KOV, E. K., A.M. SAPOZHNIKOV, 1979. Behavior of Bees Toward an Electric Field. *Seriya Biologicheskaya*, 3 : 395-400

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: de 100 à 1 000 Hz

Intensité du CE: 0 à 500 V/cm

Source de nourriture: solution de 60 % de sucre

RÉSULTAT(S):

- Sons émis à un CE de 5 à 14 V/cm pour des fréquences de 100 à 1000 Hz.
- Température augmente de 1,2 °C et la concentration en CO₂ est de 0,7 % après 1 minute d'exposition à un CE de 35 V/cm (fréquence de 500 Hz).
- Température augmente de 3,6 °C et la concentration en CO₂ est de 2 % à un temps d'exposition d'une heure à un CE de 35 V/cm (fréquence de 500 Hz).
- CE de 79 V/cm (fréquence de 300 Hz) pendant 1 minute provoque une augmentation de la température et une diminution de la concentration en CO₂ de 2,1 °C ± 0,4 °C et de 0,9 ± 0,14 % respectivement.
- CE pulsé de 79 V/cm (fréquence de 300 Hz) pendant 1 minute provoque une augmentation de la température et une diminution de la concentration en CO₂ de 1,2 °C ± 0,2 °C et 0,5 ± 0,1 % respectivement.
- Colonies soumises hebdomadairement pendant 10 minutes à un CE de 100 V/cm (fréquence de 500 Hz) produisent 30 fois plus d'abeilles ouvrières.
- Courant induit de 0,53 µA/ kHz à un CE de 500 V/cm.

GALUSZKA, H., J. LISIECKI, 1969. Certain Reactions in Honey Bees to the Flow of Electric Current of Different Parameters. *Zoologica Poloniae*, 19 : 197-211

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 20 à 5 000 Hz

Tension: 20 à 80 V

RÉSULTAT(S):

- Plus la tension est élevée, plus le choc électrique est reçu rapidement par l'abeille.
- Fréquence où le temps de réponse est le plus court varie de 30 à 100 Hz.
- Plus la tension est élevée, plus l'état de choc est long particulièrement aux fréquences variant de 30 à 100 Hz.
- À une fréquence de 50 Hz, une tension de quelques volts ne cause pas de chocs électriques. Une dizaine de volts cause des chocs électriques et une tension de 40 V provoque un choc électrique immédiatement.
- En courant continu, la durée de l'état de choc est court et indépendant de la tension.

GOULD, J. L., 1980. The Case for Magnetic Sensivity in Birds and Bees (Such As It Is). American Scientist, mai-juin : 256-267

Revue de littérature.

GOULD, J., J. L. KIRSCHVINK, K. S. DEFFEYES, 1978. Bees Have Magnetic Remanence. Science, 201 : 1026-1028

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Densité du flux magnétique: 700 G

RÉSULTAT(S):

- Danse orientée selon le CMT.
- Rayon des jeunes est construit selon la même direction magnétique que le rayon parental.
- CM de $0,2 \times 10^{-6}$ emu et de $1,2 \times 10^{-6}$ emu chez les abeilles mortes et vivantes respectivement.
- CM de 700 G induit un CM de $2,7 \times 10^{-6}$ emu dans 84 % des abeilles mortes et un CM de $1,7 \times 10^{-6}$ emu chez les abeilles vivantes.
- Aucun changement chez les pupes.

GREENBERG, B., 1977. The Effects of High Voltage Transmission Lines on Honeybees: A Feasibility Study. Technical Planning Study 76-630, Electric Power Research Institute Inc., 55 p

Information complémentaire.

GREENBERG, B., 1976. Metabolic Rates in Five Animal Populations after Prolonged Exposure to Weak, Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields in Nature. Radiat. Res., 67 : 252-265

Revue de littérature.

GREENBERG, B., V. P. BINDOKAS, 1985. The Effects of High-Voltage Transmission Lines on Honeybees. Research Projects 934-1, 934-2, Electric Power Research Institute Inc, 55 p

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

LHT

COND. EXP.:

Fréquence: 60 Hz

Intensité du CE: 0 à 7 kV/m

Temps d'exposition: 139 jours

RÉSULTAT(S):

- Les effets apparaissent à un CE de 3 kV/m un courant induit de 50 μ A.
- Poids net décroît de façon significative dans les groupes exposés à 7,0 kV/m et 90 μ A après une semaine ($P = 0,01$), à 5,5 kV/m et 70 μ A après deux semaines ($P = 0,0005$) et à 4,1 kV/m et 50 μ A après 11 semaines ($P = 0,03$).
- Dans les ruches exposées à un CE de 7,0 kV/m et un courant de 90 μ A, 6 des 7 reines sont mortes.
- Exposition à des CE à long terme provoque la mortalité de la colonie.
- Le seuil de réponses des chocs perçus lors de la marche est de 100 à 125 nA lorsque les conducteurs sont non isolés et de 250 à 375 nA lorsque les conducteurs sont isolés.
- Le seuil des décharges est évalué à 200 μ A/106 nA (valeur de crête stationnaire).
- Les effets biologiques sont limitées à une distance de 23 m au-delà de l'emprise.

GREENBERG, B., V. P. BINDOKAS, M. J. FRAZIER, J. R. GAUGER, 1981a. Response of Honey Bees, *Apis mellifera* L., to High-Voltage Transmission Lines. Environmental Entomology, 10 (5): 600-610

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

LHT

COND. EXP.:

Fréquence: 60 Hz

Intensité du CE: 7 kV/m

Courant induit: 59 μ A (ruche de 1 m de hauteur) et 85 μ A (1,5 m de hauteur)

Temps d'exposition: 114 jours (ruches de 1 m et 1,5 m blindées)

114 jours (ruches de 1m, 1,5 m et peinturées exposées)

57 jours exposées puis blindées 57 jours

RÉSULTAT(S):

- Comblement des alvéoles normal dans les ruches de 1 m exposées puis blindées, les ruches de 1 m blindées puis exposées, les ruches exposées 114 jours et les ruches de 1,5 m peinturées à l'intérieur exposées 114 jours.
- Production de couvain normale pendant les deux premières de semaines dans les ruches exposées de 1,5 m suivi d'un déclin pour arriver à aucune production après huit semaines.
- Ruches exposées de 1 m et de 1,5 m peinturées ont un poids net inférieur aux témoins.
- Dépôts anormaux de propolis présents à l'entrée des ruches exposées.
- Mortalité dans les ruches exposées de 1,5 m, les ruches blindées puis exposées de 1,5 m et les ruches peinturées de 1,5 m exposées suite à un hiver.
- Survie hivernale faible pour les ruches exposées puis blindées de 1,5 m, les ruches exposées de 1 m et les ruches blindées puis exposées de 1 m.
- Reines mortes dans 57 % des ruches dans les deux premières semaines et dans 100 % des ruches après 2 mois.
- Courant induit de 100 μ A provoque une augmentation de la température dans 62,5 % des cas.
- Blindage accélère le retour à une température normale.

GREENBERG, B., V. P. BINDOKAS, J. R. GAUGER, 1981b. Biological Effects of a 765 kV Transmission Line: Exposure and Thresholds in Honeybee Colonies.
Bioelectromagnetics, 2 : 315-328

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

LHT

COND. EXP.:

Fréquence: 60 Hz

Intensité du CE: 0 à 7,0 kV/m

RÉSULTAT(S):

- Abeilles exposées à 7 kV/m et 90 μ A ont eu une baisse du poids net après une semaine.
- Abeilles exposées à 5,5 kV (70 μ A), 4,1 (50 μ A) ont eu une baisse de poids net après 2 et 11 semaines respectivement.
- Poids n'est pas modifié dans les ruches exposées à 1,8 kV/m (20 μ A) et 0,65- 0,85 kV (8,5 μ A) même après 25 semaines.
- Propolisation est plus importante dans les groupes exposés à plus de 4,1 kV/m mais sans différence significative.
- 6 des 7 reines sont mortes dans les ruches exposées à 7,0 kV/m.
- Aucune perte de reine dans les ruches exposées à moins de 4,1 kV/m.

- Mortalité des abeilles après 8 semaines à des CE de 7 kV/m.
- Seuil d'effets est situé entre 4,1 et 1,8 kV/m et la distance à partir de la limite de l'emprise où les effets sont nuls est de 23 m.

HEPWORTH, R., S. PICKARD, K. J. OVERSHOTT, 1980. Effects of the Periodically Intermittent Application of a Constant Magnetic Field on the Mobility in Darkness of Worker Honeybees. J. Apicultural Research, 19 : 179-186

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Intensité du CM: $3,75 \pm 0,15$ Oe

Source de nourriture: solution de 30 % de sucre

Temps d'exposition: 2 heures

RÉSULTATS:

- Un faible CM continu peut provoquer des changements appréciables au niveau des mouvements ambulatoires.
- Changement des mouvements ambulatoires est plus facilement identifiable lorsqu'on utilise un CM continu intermittent plutôt qu'un CM continu.

HOGG, J. A., 1991. Naive Honey Bee Recruits to Foraging May Be Magnetotactic. American Bee Journal, juin : 389-393

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

RÉSULTAT(S):

- Abeilles choisissent d'abord l'étage côté nord comme sortie.
- À une rotation de 180°, les abeilles utilisent sans hésitation la sortie sud pour ensuite retourner vers le nord.
- Abeilles se dirigent toujours vers le vrai nord.
- Les nouvelles recrues choisissent le nord à l'aide du CMT.
- Pour les recrues, le CMT semble être un guide et la lumière, un élément déclencheur.
- Comportements ne sont pas en relation avec la journée ou l'heure de la journée.

KIRSCHVINK, J. L., 1981. The Horizontal Magnetic Dance of the Honeybee Is Compatible with a Single-Domain Ferromagnetic Magnetoreceptor. BioSystems, 14 : 193-203

Information complémentaire.

KIRSCHVINK, J. L., KIRSCHVINK A.K, 1991. Is Geomagnetic Sensitivity Real? Replication of the Walker-Bitterman Magnetic Conditioning Experiment in Honey Bees. Amer. Zool., 31 : 169-185

Information complémentaire.

KORALL, H., T. LEUCHT, H. MARTIN, 1988. Bursts of magnetic fields induce jumps of misdirection in bees by a mechanism of magnetic resonance. J Comp Physiol A, 162 : 279-284

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 250 Hz

Intensité du CM artificiel pulsé: de 0 à 20 000 γ

Temps d'exposition: 128 jours

RÉSULTAT(S):

- CM artificiel pulsé de 1 400 γ (fréquence de 250 Hz), en direction de l'inclinaison du CMT, provoque des changements de direction de 10°.
- CM artificiel de plus de 20 000 γ n'a aucune répercussion suggérant une fenêtre de stimulation.
- En passant du CMT pour un CM artificiel, les changements de directions sont proportionnels à l'intensité dans l'échelle de 10 à 1 400 γ .
- Aucun changement de direction n'est observé à CMT compensé à moins de 5 % de l'intensité totale.
- En additionnant un CM artificiel de 1 400 γ au CMT compensé à moins de 5 %, aucun changement de direction n'apparaît.
- Dans un CM statique artificiel amplifié (i.e. 1,5 Oe par rapport à 0,42 Oe pour le CMT) jumelé à un CM artificiel alternatif pulsé, les changements de direction sont retardés de 2 à 4 minutes et possèdent en général une amplitude plus faible.
- À un CM artificiel d'une intensité inférieure à 2 000 γ , la déviation est positive tandis qu'en haut de 2 000 γ , la déviation est négative par rapport à l'angle de la danse prédite.

KORALL, H., H. MARTIN, 1987. Responses of bristle field sensilla in *Apis mellifica* to geomagnetic and astrophysical fields. J. Comp. Physiol. A, 161 : 1-22

ESPÈCE:

Apis mellifera mellifica

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 10 Hz

Intensité du CM: 0 à 20 γ

Intensité du CMT statique horizontal: 42 000 et 84 000 γ

Temps d'exposition: 2 heures

RÉSULTAT(S):

- Poils sont des récepteurs importants dans l'orientation spatiale et jouent un rôle au niveau de la gravité, de la construction du rayon et dans la direction des danses de communication.
- Abeilles peuvent détecter des changements dans l'intensité du CMT de 1 γ .
- Position du soleil et de la lune influence le comportement des abeilles indépendamment du CMT.
- En l'absence d'un CMT stable, les abeilles s'orientent avec la gravité.
- CM générés par les lignes à très haute tension peuvent nuire à l'orientation et interférer dans les activités de butinage. Cependant, ces effets sont minimisés par la présence de d'autres systèmes d'orientation tel la gravité.

LEE, J. M., 1989. Electrical and Biological Effects of Transmission Lines: A Review. U.S. Departement of Energy, Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, 107 p

Revue de littérature.

LEE, J. M., G. L. REINER, 1983. Transmission Line Electric Fields and the Possible Effects on Livestock and Honeybees. American Society of Agricultural Engineers, : 279-286

Revue de littérature.

LEUCHT, T., 1984. Responses to light under varying magnetic conditions in the honeybee, *Apis mellifica*. J Comp Physiol A, 154 : 865-870

ESPÈCE:

Apis mellifera carnica

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Densité du flux magnétique terrestre: 0,5 G
Densité du flux magnétique terrestre amplifié: 2 G
Luminosité: 4 lx

RÉSULTAT(S):

- Abeilles exposées à la lumière ont une déviation maximale de la danse dans la région zéro (205°) correspondant à l'inclinaison du CMT.
- En présence du CMT, la réaction à la lumière arrête lorsque l'angle entre le soleil et la source de nourriture est de 225,3° soit un angle de 20,3° (SD: 1,04) par rapport à la verticale.
- En présence du CMT compensé, la réponse de l'abeille arrête à un angle de 235,17° soit 30,17° (SD: 2,38) par rapport à la verticale.
- Aucune réaction en présence de la lumière et d'un CMT amplifié.
- Dans un CMT compensé, les abeilles répondent avec une déviation négative dans la zone zéro de 25° tandis qu'au point zéro de 205°, les abeilles répondent avec une déviation positive.
- La plus grande déviation dans la direction des danses est observée dans la bande ultraviolet.
- Le ratio vert: bleu: ultraviolet de ces effets est de 1: 1,63 : 2,64 lorsque les danses sont effectuées dans un angle variant de 25° à 45° et de 1: 1,22 : 2,63 dans un angle variant de 205° à 225°.

LEUCHT, T., H. MARTIN, 1990. Interactions Between e-Vector Orientation and Weak, Steady Magnetic Fields in the Honeybee, *Apis mellifica*. *Naturwissenschaften*, 77 : 130-133

ESPÈCE:

Apis mellifera mellifica

SITE EXP.:

Extérieur

COND. EXP.:

Intensité du CMT: 42 000 nT
Source de nourriture: solution de sucrose de 2 M

RÉSULTAT(S):

- À une ouverture de 40°, les abeilles dansent en direction de la source.
- À une ouverture située entre 30° et 58°, les danses sont dirigées vers la source dans 80 % des cas et à 20°, plus de 40 % des danses sont dirigées en direction opposée de la source, soit 180°.
- À des ouvertures de 20° et 40° et en présence du CMT compensé, les danses sont orientées à l'opposé de la source. Après 60 à 90 min, les abeilles ont un comportement entièrement bimodal.
- En présence du CMT, on a un recrutement de 8 abeilles/15 min en conditions de lumière et

- 12,43 abeilles/15 min lorsque la danse est effectuée à la noirceur.
- En présence du CMT compensé, on a 12,74 abeilles/15 minutes en conditions de lumière et 16,84 abeilles/15 minutes en conditions de noirceur.
- Abeilles sont capables de détecter la polarité du CMT et ce dernier sert de système de référence lorsque la vision est restreinte.

LINDAUER, M., H. MARTIN, 1968. Die Schwereorientierung der Bienen unter dem Einfluß des Erdmagnetfeldes. Z. vergl. Physiol., 60 : 219-243

Information complémentaire.

LINDAUER, M., H. MARTIN, Magnetic Effect on Dancing Bees. symposium N.A.S.A., 262 : 559-569

Information complémentaire

MARTIN, H., H. KORALL, B. FÖRSTER, 1989. Magnetic field effects on activity and ageing in honeybees. J Comp Physiol A, 164 : 423-431

ESPÈCE:

Apis mellifera carnica

SITE EXP.:

Extérieur et laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 5 Hz

Intensité du CM: 0,08 à 1,45 Oe

Inclinaison du CM: 8° à 80°.

CM compensé: 2 % du CMT

Intensité lumineuse: 750 lx sur une période de 12 heures/jour

Source de nourriture: solution de sucre de 2 M

RÉSULTAT(S):

Laboratoire

- Sous des conditions de luminosité constante, il y a une diminution de l'activité de 40 % sous des CM hétérogènes comparativement au CMT.
- Réduction de l'activité de 40 % à un CM statique homogène amplifié de 0,4 à 1,45 Oe.
- Sous un CM artificiel hétérogène, l'espérance de vie est de 74 % pour les butineuses ($16,3 \pm 5,6$ jours sous le CMT et $28,4 \pm 12,8$ jours sous le CM artificiel) et de 60 % pour les abeilles âgées ($18,9 \pm 4,4$ jours sous le CMT et $30,0 \pm 14,1$ jours sous le CM artificiel).
- Taux de lipofuscine réduit de 9,5 % à un CM artificiel hétérogène.
- Aucune corrélation entre le taux de lipofuscine et l'âge.

Extérieur

- Rythme moyen des danses sous un CMT de $5,93 \pm 0,44$ circuits/15 sec.
- L'amplification et la compensation du CMT à 2 % de son intensité totale provoquent une baisse du rythme des danses.

- Vol réduit sous les CM horizontaux de 0,40 à 1,45 Oe.
- Rythme est fortement réduit lorsque la compensation du CMT est suivi d'un CM de 5 Hz avec 1,04 Oe (crête) en direction est-ouest.

MARTIN, H., M. LINDAUER, The Orientation of Bees in the Earth's Magnetic Field. Sense Organs, : 328-332

Information complémentaire.

NEUMANN, M. F., 1988. Is there any influence of magnetic or astrophysical fields on the circadian rythm of honeybees? Behav Ecol Sociobiol, 23 : 389-393

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Source de nourriture: solution de sucrose de 2M

Intensité du CMT: 0,44 Oe

Inclinaison du CMT: 72°

Intensité du CM artificiel: 0,13 à 0,88 Oe

Inclinaison du CM artificiel: 12° à 82°

Intensité lumineuse: 1 150 lx

RÉSULTAT(S):

- Dans un CMT, les écarts de temps pour aller se nourrir varient de 48 min à 360 min.
- Dans un CM artificiel, les écarts de temps varient de 62 min à 284 min.
- En hiver, l'écart moyen est de 148 min et de 129 min en présence du CMT et du CM artificiel respectivement.
- En été, l'écart moyen est respectivement de 240 min et de 278 min en présence du CMT et du CM artificiel.
- Les champs astrophysiques n'ont pas d'influence sur le comportement des abeilles.

PAN, N. R., 1976. X-ray Diffraction Study on the Orientation in Shellac Wax & Bees's Wax Solidified in Magnetic Fields. Indian Journal of Pure & Applied Physics, 14 : 800-804

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Intensité du CM: 0 à 15 Oe

Température: 67 °C et 77 °C

RÉSULTAT(S):

- Orientations sur les anneaux de diffraction moins proéminentes dans les cires d'abeille et de Shellac comparativement à la cire de Carnauba.
- Aucun maximum d'orientation observé pour les cires d'abeilles et de Shellac lorsque soumises à des CM de 6,1 et 9,2 Oe.
- Cire d'abeilles a un petit pic sous l'influence d'un CM de 12,3 Oe et une variation importante à un CM de 15 Oe.
- Pas formation d'éléments magnétiques mais les lignes d'orientation sont apparentes.

PRASAD, S. N., R. S. PRASAD, 1975. Thermally stimulated discharge currents in bees wax electrets. Indian J. Phys., 49 : 596-602

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Tension: 800 à 1 400 V

Température: 52 à 62 °C

RÉSULTAT(S):

- Courant négatif à des températures inférieures à 32 °C et supérieures à 65 °C.
- Courant atteint un pic à une température variant de 52 à 55 °C.
- Courant atteint une valeur de zéro à une température variant de 61 à 65 °C.

PRASAD, S. N., R. S. PRASAD, 1974. Electrical conduction in bees wax. Indian J. Phys., 48 : 252-258

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Intensité du CE: 1 à 12 kV/cm

Température: 52 à 89 °C

RÉSULTAT(S):

- Cire d'abeilles est une substance amorphe, cristalline et semi-conductrice, la conductivité variant avec la température.
- Conductivité stable sous tous les CE à une température plus élevée que 60 °C.
- À des températures variant de 50 à 56 °C, la conductivité baisse lorsqu'on augmente l'intensité du CE.
- À des températures de 50 à 52 °C, la conductivité augmente avec l'augmentation de l'intensité du CE.
- À partir de 60 °C, la conductivité est très élevée.

- La non linéarité peut être causée par les électrons qui comblent les espaces d'air présents dans la cire.

PRASAD, S. N., R. S. PRASAD, 1973. Electrical Conductivity of Bee's Wax. Indian J. Pure Appl. Phys., 11 : 700-701

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Intensité du CE: 1 à 12 kV/cm

RÉSULTAT(S):

- Cire d'abeille possède un caractère amorphe et cristallin.
- Elle passe de solide à semisolide puis à liquide, la frontière entre ces deux états crée des bulles d'air à l'intérieur de la cire.
- Conduction ionique se polarise en état semisolide.
- En augmentant les CE à des températures inférieures à 56 °C, la conductivité électrique augmente.
- À des températures situées entre 56 et 60 °C, la conductivité électrique diminue (la cire est un mélange de l'état solide et liquide)
- À des températures supérieures à 60 °C, la conductivité électrique demeure relativement constante (état liquide).

PROLIC, Z., Z. JOVANOVIĆ, 1986. Influence of Magnetic Field on the Rate of Development of Honeybee Preadult Stage. Period biol, 88 : 187-188

ESPÈCE:

Apis mellifera mellifica

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Intensité du CM: 375 mT

Humidité: 75 %

Température: 31 °C

RÉSULTAT(S):

- Temps nécessaire pour la métamorphose de la larve au stade d'ouvrière est de $6,55 \pm 0,74$ jours pour le témoin et de $4,9 \pm 0,59$ jours sous le CM.
- CM affecte le métabolisme durant la métamorphose accélérant le processus de développement de 25 %.

SCHIFF, H., 1991. Modulation of Spike Frequencies by Varying the Ambient Magnetic Field and Magnetite Candidates in Bees (*Apis mellifera*). Comp. Biochem. Physiol., 100A : 975-985

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire
COND. EXP.:

Intensité du CM: $30 \pm 3 \mu\text{T}$.

RÉSULTAT(S):

- Réponse maximale des neurones de la première classe est obtenue avec un CM d'une intensité de 67 % de l'intensité totale.
- La deuxième classe répond sensiblement à la première classe mais de façon moins évidente.
- Modulation de 35 % du CM a un effet plus marqué qu'une modulation de 24 %.
- En considérant que la première classe, c'est à une modulation de 24 % que l'on observe le plus de décharges.
- Décharges au niveau des neurones se produisent sous l'influence d'un CM d'une intensité de 25 à 35 % superposé au CMT.
- En renversant la polarité du CM, la fréquence des décharges diminue.
- Les électrons formant une masse dense située à la base des poils seraient des cristaux superparamagnétiques et le matériel diffus serait des cristaux de $1\,000 \text{ \AA}$ ($0,1 - 0,6 \mu\text{m}$).

SCHMITT, D. E., Modality Scanning Method Reveals the Influence of Gradients in Magnetic Fields upon the Fundamental Orientations of Bees. : 92 A

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

RÉSULTATS:

- Angle de la danse sous le CMT est de $31,3 \pm 2,1^\circ$ ($P < 0,058, 0,025$ et $0,025$)
- Angle de la danse sous les CM artificiels est de $63,8 \pm 3,0^\circ$ ($P < 0,05, 0,025$ et $0,01$).
- Aucune corrélation entre le soleil et l'orientation de la danse sous le CMT.
- L'adaptation des abeilles soumises aux CM artificiels implique une élimination de certains modes de vie.

SCHMITT, D. E., H.E. ESCH, The Orientation of Hive-Exiting Bees when Tested in the Natural and in an Artificial Magnetic Field. : 39 A.

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

RÉSULTAT(S):

- Sous le CMT, les abeilles se dirigent vers l'est ($P < 0,01$).
- Sous un CM artificiel, les abeilles ne démontrent pas ce comportement.
- Les abeilles se servent du CMT pour s'orienter dans la noirceur.
- Un CM artificiel influence et nuit à l'orientation.

TOMLINSON, J., S. MCGINTY, J. KISH, 1980. Magnets Curtail Honey Bee Dancing. Animal Behaviour, 29 : 307-308

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Densité du flux magnétique: 70 G

RÉSULTAT(S):

- Temps avant l'arrêt de la danse est de $19,12 \pm 2,12$ min sous un CM et de $33,84 \pm 3,45$ min pour le témoin ($P < 0,01$).
- Les résultats sont semblables et significatifs à 95 % à la saison suivante.

TURANSKAYA, V. M., 1972. Motor Activity in the honey Bee *Apis mellifera* During Electrical Stimulation of the Supraoesophageal Ganglion. Zhurnal Evolyutsionnoi Biokhimii i Fiziologii, 8 : 452-453

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 15 à 20 impulsions à la seconde

Intensité du courant: 10 μ A
Temps d'exposition: 30 à 60 secondes

RÉSULTAT(S):

- Activité motrice stimulée dans seulement 15 % des essais.
- Les mouvements locomoteurs sont enregistrés au niveau du ganglion mais le témoin s'effectue au niveau du cerveau.

WALKER, M. M., M. E. BITTERMAN, 1989a. Attached Magnets Impair Magnetic Field Discrimination by Honeybees. J. Exp. Biol., 141 : 447-451

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Extérieur et laboratoire

COND. EXP.:

Intensité du CM: 350 μ T
Intensité du CMT: 38 μ T
Inclinaison du CMT: 38°
Déclinaison du CMT: 11°16'E
Source de nourriture: solution de 50 % de sucre

RÉSULTAT(S):

- Pas de différence significative entre les témoins ($P > 0,05$) et les abeilles portant les fils non magnétisés ($P > 0,05$) mais il en existe une entre les contrôles et les abeilles magnétisées ($P = 0,0385$).

WALKER, M. M., M. E. BITTERMAN, 1989b. Conditioning Analysis of Magnetoreception in Honeybees. Bioelectromagnetics, 10 : 261-275

Information complémentaire

WALKER, M. M., D. L. BAIRD, M. E. BITTERMAN, 1989c. Failure of Stationary but Not of Flying Honeybee (*Apis mellifera*) to Respond to Magnetic Field Stimuli. Journal of Comparative Psychology, 103 : 62-69

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Extérieur et laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: 0,01 à 10 Hz

Intensité du CM: 1 à 100 μ T

Intensité du CMT: 38 μ T

Inclinaison du CMT: 38°

Déclinaison du CMT: 11°16'E.

Source de nourriture: solution de 10-12 % et de 50 % de sucre

RÉSULTAT(S):

- Il n'y a pas de différence entre un CM pulsé et un CM alternatif.
- Aucune preuve d'un conditionnement face à une stimulation d'un CM mais il y a détection.
- Modulation du CM ne provoque pas de réponse répulsive.
- Sous un CM, les abeilles en vol sont attirées vers la bonne source et les abeilles stationnaires ne répondent pas ($p=0,0017$).
- Abeilles stationnaires sont capables de détecter le CM mais répondent à la lumière.

WALKER, M. M., M. E. BITTERMAN, 1989d. Honeybees Can Be Trained to Respond to Very Small Changes in Geomagnetic Field Intensity. J. Exp. Biol., 145 : 489-494

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Extérieur et laboratoire

COND. EXP.:

Intensité du courant: 0,1 et 1 A

Source de nourriture: solution de 50 % de sucre

RÉSULTAT(S):

- La transduction est la seule hypothèse permettant de comprendre la sensibilité de l'abeille à localiser les changements de CM.
- Abeilles peuvent être entraînées à répondre à de faibles changements d'intensité de CM à un courant de 1 A (créant un CM à la source de 30 fois supérieur à celui du CMT).
- Le seuil de sensibilité est de 0,00002 A (260 nT, 0,6 % du CMT).

WALKER, M. M., M. E. BITTERMAN, 1985. Conditioned responding to magnetic fields by honeybees. J Comp Physiol A, 157 : 67-71

ESPÈCE:

Apis mellifera

SITE EXP.:

Extérieur et laboratoire

COND. EXP.:

Intensité du courant: 0,4 et 0,6 A

Source de nourriture: solution de 20 % et de 50 % sucrose

RÉSULTAT(S):

- Abeilles trouvent inacceptable une solution de sucrose plus faible à celle dont elles ont l'habitude.
- Abeilles portent une attention au CM lorsqu'elles se nourrissent ($P = 0,0005$).
- Abeilles préfèrent la source dans le CM où elles ont reçues la solution de 50 % de sucrose ($P = 0,0015$).

WELLENSTEIN, V. G., 1973. Der Einfluß von Hochspannungsleitungen auf Bienenvölker (*Apis mellifica* L.). Z. ang. Ent., 74 : 86-94

Information complémentaire.

WINSTON, M. L., 1993. La biologie de l'abeille. Nauwelaerts Editions, Belgique, 276 p

Revue de littérature.

YES'KOV, Y. K., 1993. Frequency Characteristic of the Sensitivity of Honeybee Larvae to Electric Current. Biophysics, 38 : 187-188

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

COND. EXP.:

Fréquence: de 10 à 5 000 Hz.

RÉSULTAT(S):

- Lorsque la fréquence passe de 10 à 5 000 Hz, le seuil de réponse est 137 fois plus élevé (probabilité de 0.999).
- Le seuil de réponse à la stimulation d'un courant induit d'une intensité identique est plus élevé chez l'adulte.
- À une fréquence de 50 Hz, la sensibilité de la larve est 325 fois plus faible que la sensibilité de l'adulte.
- À 5 000 Hz, la sensibilité de la larve est 1 027 fois plus faible que la sensibilité de l'adulte.
- La perception est donc basée sur l'induction de courant.

YES'KOV, Y. E., A. M. SAPOZHNIKOV, 1976. Mechanisms of Generation and Perception of Electric Fields by Honey Bees. Biofizika, 21 : 1097-1102

ESPÈCE:

Non spécifiée

SITE EXP.:

Laboratoire

RÉSULTAT(S):

- Charge électrostatique de l'abeille au repos sur le rayon est de $-1,8 \pm 0,5$ pC à $+2,9 \pm 0,5$ pC tandis que pour les abeilles faisant une danse, la charge électrostatique est de $+45,2 \pm 4,3$ pC.
- Vol n'a pas d'influence sur la charge électrostatique, une abeille volant sur une distance de 5 m et de 500 m possède une charge de $+0,98 \pm 0,13$ pC et de $+0,96 \pm 0,13$ pC respectivement.
- Abeille émettant un son lorsque ses ailes vibrent génère un CE variable dont l'intensité est de $0,52 \pm 0,1$ V/cm.
- Abeille émettant un son lors d'une danse, où la vibration des ailes est très faible, génère un CE d'une intensité de $0,19 \pm 0,05$ V/cm.
- CE de 500 V/cm (fréquence de 1 000 Hz) peut induire un courant de 10^{-7} A (cette valeur est près du courant observé lorsque les abeilles sont en contact avec un poison).
- Plus les abeilles sont en grand nombre, plus elles réagissent à une faible intensité de CE.
- La perception des CE variables générés artificiellement est relié à l'action physiologique du passage des courants induits lors du contact entre les abeilles.

ZAPOTOSKY, J. E., J. R. GAUGER, 1993. ELF Communications System - Ecological Monitoring Program: A Summary Report for 1982-1992. IIT Research Institute, Chicago, 51 p

Information complémentaire.