

# Compter les abeilles ! ?



"Couloirs aériens" devant la ruche

**L'objet de cet article est de présenter la réalisation d'un ensemble électronique et logiciel informatique permettant le comptage, la mesure d'activité d'une ruche. L'auteur a réalisé ce montage pour la simple observation du comportement d'une ruche témoin de son rucher. Il s'est attaché à décrire le mécanisme informatique pour l'initiation d'un lecteur novice en la matière.**

## POURQUOI ?

" Et bien !!! Aujourd'hui elles travaillent beaucoup ! " C'est après une réflexion de ce type par un beau jour de printemps que je me suis demandé : " mais combien d'abeilles viennent et vont butiner à la minute ? ". Après une estimation visuelle d'une minute, je comptais 180 abeilles prenant leur envol vers les fleurs des prés voisins formant ainsi de véritables couloirs aériens. L'esprit de curiosité aidé de mon activité professionnelle d'informaticien, me conduisit aussitôt à prendre la décision de créer un système de comptage du passage des abeilles aux trous de vol.

La quantification du nombre d'abeilles qui rentrent et qui sortent de la ruche peut donner de multiples informations sur celle-ci. Pour mieux comprendre, le biologiste peut étudier le comportement de la ruche en fonction de l'environnement (nouveaux pesticides, climat...). Le curieux peut évaluer l'activité de sa ruche, reconnaître et archiver les périodes des miellés... Et pourquoi pas dans le futur avec un dispositif peu onéreux installé sur toutes les ruches de son rucher, évaluer la santé de chaque ruche, la future récolte, détecter et prévenir en cas d'essaimage... Complété par d'autres capteurs comme la température et l'hygrométrie (...), on peut aussi imaginer une utilisation pédagogique et didactique destinée à l'observation temps réel dans les musées si visités, de nos collègues apiculteurs professionnels. Il y a là matière à observer la nature scientifiquement. Mais comment peut-on faire compter des abeilles à un ordinateur ?

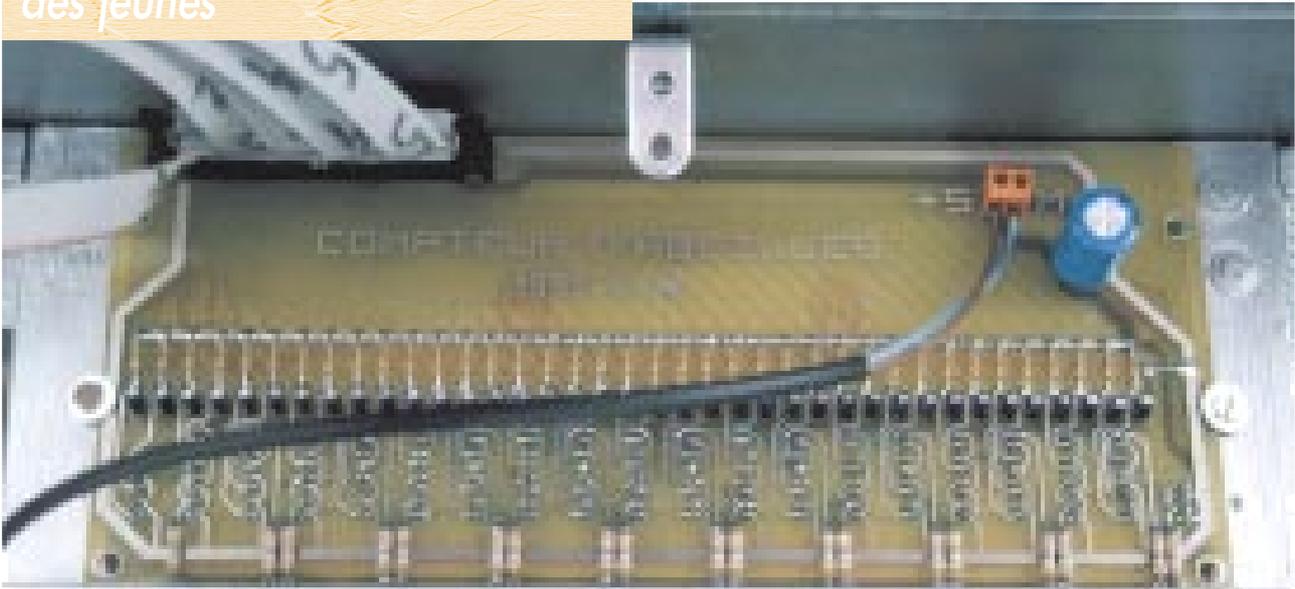
## COMMENT ?

Ce dispositif destiné à des tâches de comptage répétitives, d'archivage et traitement de données est composé d'une partie électronique (capteurs physiques détectant le passage des insectes) et logiciel (programme, suite d'instructions données par le programmeur pour interpréter les signaux en provenance de l'électronique, les valider puis les archiver). Par la suite, il faut aussi analyser toutes les données brutes, tracer des graphiques et des représentations via l'écriture d'une autre série de logiciels. La carte électronique des capteurs optiques au trou de vol

### L'ÉLECTRONIQUE DU COMPTEUR :

Pour des raisons pratiques et de réutilisation d'ancien montage, elle est composée de deux parties et d'un ordinateur de récupération. Ces modules sont reliés entre eux par une nappe de 10 mètres de 50 conducteurs. Cette conception n'est pas gênante si son rucher est proche d'un abri et d'une source d'électricité. Il faut prévoir tout autre chose si on souhaite installer un tel montage dans un rucher éloigné. Le principe de





La carte électronique des capteurs optiques au trou de vol

développement sera le même mais l'ordinateur sera remplacé par un microcontrôleur. Le microcontrôleur est à lui seul un mini micro-ordinateur que l'on place sur une carte électronique. Il dispose d'une mémoire, d'un processeur et donc d'un jeu d'instructions lui permettant d'exécuter un programme, bien souvent d'interfaces de communication mais d'aucun moyen d'affichage et de visualisation. C'est un très gros progrès en matière de miniaturisation d'électronique car de part ces fonctions, il peut remplacer une grande quantité de composants discrets.

### **1 - LE MODULE DES CAPTEURS AU TROU DE VOL :**

Cette partie comprend tous les capteurs de passage des insectes et les composants associés à leur bon fonctionnement. On peut imaginer plusieurs moyens pour détecter le passage d'un insecte :

- un dispositif mécanique mais sans doute risqué et peu fiable ;

- une image vidéo sur laquelle on analysera les mouvements complexes ;  
- la très classique barrière lumineuse que j'ai utilisée.

Une barrière lumineuse est composée d'un émetteur et d'un récepteur de lumière. D'après les biologistes, les abeilles sont semble-t-il plus sensibles aux couleurs bleues qu'aux couleurs rouges et infrarouges. C'est la raison pour laquelle j'ai choisi des émetteurs infrarouges pour perturber le moins possible les insectes. Le récepteur doit donc être surtout sensible à ses longueurs d'onde et ne pas être perturbé par le fond lumineux de la lumière du jour qui éclaire directement la planche d'envol. L'industrie a un énorme besoin en la matière, c'est la raison pour laquelle on trouvera sans trop de problème une grande gamme de composant couplé de ce type. J'ai pour ma part utilisé des fourches optiques de la marque Omron, le SX1070 composé d'une LED infrarouge ("ampoule" émettant dans l'infrarouge) et d'un phototransistor ("interrupteur ou



vanne avec gain" dont le réglage de débit électrique est fonction de la quantité de lumière incidente). Sur le SX1070, l'émetteur et le récepteur sont distants de 8 mm. C'est aussi la largeur de la fourche plastique qui leur sert de support. Avec le recul et l'expérience il faut choisir les composants les moins épais pour réduire la distance entre deux barrières lumineuses. On assure ainsi une meilleure précision de comptage. Il faut en effet deux barrières par trou de vol pour pouvoir discriminer le sens, une entrée ou une sortie de la ruche. Le format standard A4 des circuits imprimés m'ont permis de placer 19 trous de vols. Les 38 capteurs sont tous montés et utilisés comme le montre le schéma de principe de la figure 1. Ce module permet de savoir si oui ou non une abeille est présente dans la barrière optique sous la forme de deux états électriques, 0 ou 5 Volts. Grâce à la carte interface, ces deux états seront compris par l'ordinateur par deux états binaires 0 ou 1 : un bit (pas byte qui égale 8 bits). Il ne permet pas pour l'instant de savoir si une abeille est passée et encore moins de comptabiliser. Il manque un brin " d'intelligence " qui sera apporté par le programme informatique s'exécutant dans l'ordinateur.

Les barrières optiques comme trous de vol.

**Schéma 1 :** Schéma de principe de la barrière optique. On ajoute deux résistances ( $R1 = 76 \text{ Ohms}$  pour limiter à 25 mA le courant électrique qui traverse les diodes LED émettrices.  $R2 = 10 \text{ kW}$  pour polariser et limiter le courant électrique qui peut traverser le phototransistor récepteur) et un condensateur ("réservoir" d'électricité) de  $1 \mu\text{F}$ . Lorsqu'une abeille passe dans la fourche entre la LED et le phototransistor, ce dernier n'est pas éclairé. Il est donc dans un état non-conducteur et on se retrouve avec environ 5 volts en  $V_s$ . Lorsque qu'il n'y a pas d'abeille dans la fourche, le phototransistor est directement éclairé par la LED. Il est alors dans un état saturé et conducteur. Un courant limité par la résistance  $R2$  le traverse. On se retrouve alors avec environ 0 Volt en  $V_s$ . Toute cette évolution en tension n'est pas directe mais progressive selon la quantité de lumière incidente. Il peut y avoir aussi des artefacts ou microcoupures dues par exemple aux antennes des abeilles. Le condensateur  $C1$  réserve d'énergie permet de combler ce vide en lissant le signal de sortie si une coupure n'est pas significative. L'électronique craignant l'humidité j'ai aussi tropicalisé la carte grâce à un spray adéquat.

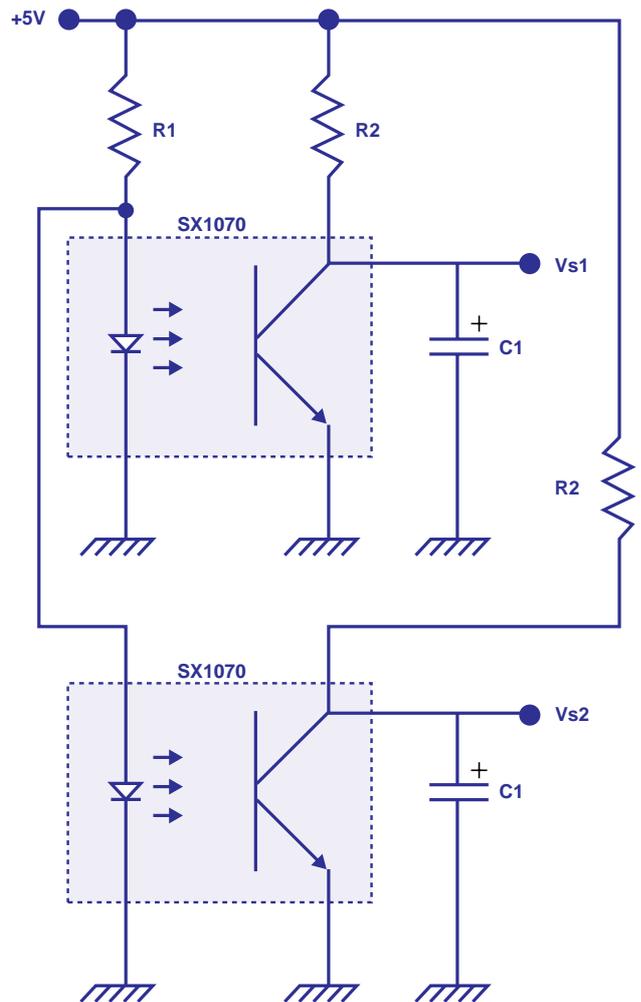


Schéma 1



## 2 – L'INTERFACE AVEC L'ORDINATEUR, LA CARTE 48 ENTRÉES/SORTIES LOGIQUES :

Les barrières optiques génèrent deux états électriques 0 et 5 Volts. Il faut un moyen pour rentrer ces informations numériques (0 ou 1) dans l'ordinateur. L'interface entre l'ordinateur et l'ensemble des barrières optiques est assurée par une carte 48 entrées/sorties logiques. Il s'agit d'un montage réalisé auparavant pour d'autres projets. Ce montage s'articule autour de deux composants classiques, les PPI8255 placés dans le domaine d'adressage du BUS d'extension ISA des ordinateurs compatibles IBM PC. L'explication détaillée du fonctionnement d'une telle carte interface dépasse le thème de cet article. Je vais quand même expliquer le principe de base. Un ordinateur dispose entre autres d'un microprocesseur et d'une mémoire vive, c'est à dire des cases mémoires où le processeur peut stocker des informations et les lire à n'importe quel moment sous forme numérique. Les cases mémoires sont organisées en ensemble de 8 bits = un octet binaire (valeur peut prendre de 0 à  $2^8-1 = 255$ ), 16 bits = un mot binaire (0 à  $2^{16}-1 = 65535$ ), 32 bits, 64 bits... La mémoire d'un ordinateur est un ensemble de cases mémoires que l'on peut repérer grâce à une adresse elle aussi numérique. Ainsi le programmeur peut dire au processeur de stocker la valeur 172 dans la case mémoire numéro 176012. Il peut aussi lire la valeur de la case mémoire numéro 1782286 en vue d'un traitement... Selon les processeurs et les ordinateurs utilisés on peut faire en sorte de "connecter" directement les sorties électriques des barrières optiques à la place de cases mémoires (1 phototransistor par bit d'octet dans notre cas). On les relie via un composant interface. On réalise des entrées numériques pour l'ordinateur, le monde extérieur est palpable pour l'ordinateur. Les microprocesseurs INTEL des ordinateurs compatibles PC disposent eux d'un espace d'adressage spécifique aux entrées-sorties. En fait, pour savoir si oui ou non une abeille est dans la fourche optique, le programmeur demande la valeur d'un genre de case mémoire (le registre du PPI placé à l'adresse 768 par exemple) puis teste cette valeur. Un passage d'abeille sera donc une succession de valeur 0 puis 1 puis 0 en un certain temps.

La carte électronique d'interfaçage 48 e/s logiques entre l'ordinateur et les capteurs. Cette carte est insérée dans un des connecteurs d'extension de l'ordinateur.

## 3 – L'ORDINATEUR :

Pour cette utilisation, il n'est pas besoin d'utiliser un ordinateur puissant. J'ai utilisé un "vieux" Pentium 75 avec 32 Mo de mémoire vive, un disque dur de 1 Go sous le système d'exploitation libre Unix-Linux sans noyau temps réel. Linux est un système d'exploitation, c'est à dire un ensemble logiciel permettant la cohésion de toute l'électronique de l'ordinateur, gérant les entrées sorties sous toutes ses formes, et offrant des commandes et fonctionnalités de bases au programmeur. Linux est capable d'exécuter plusieurs fonctions "à la fois" en temps partagé, il est multitâche. Je n'ai même pas utilisé de noyau temps réel, c'est à dire que lorsque j'exécute un morceau de programme, je suis incapable de savoir dans combien de temps le système me redonnera la main. C'est sur cet ordinateur que s'exécutera le programme de comptage et d'archivage du nombre d'entrées et sorties à la seconde prêt au cours de la journée.

## LE PROGRAMME COMPTEUR :

Il s'agit du cœur du système et la partie la plus complexe. A un instant t, le programmeur est capable de lire les états 0 ou 1 de tous les capteurs.

Un passage est une succession d'état dans le temps qui n'ont pas forcément les mêmes durées. De plus, pour une entrée dans la ruche, l'abeille passera d'abord par la barrière extérieure puis et ou dans le même temps par la barrière intérieure. C'est évidemment l'inverse pour une sortie. Ce logiciel de comptage surveillera donc l'évolution des états des capteurs dans le temps et en déduira un comptage. Tout cela est très simple sur le papier et en théorie mais les abeilles compliquent bien les choses et perturbent le comptage. D'abord une abeille peut être plus ou moins pressée. Il est possible que deux abeilles tentent l'une d'entrer l'autre de sortir par le même trou en même temps, ce qui peut provoquer soit une entrée soit une sortie ou rien du tout. Les abeilles peuvent se suivre de très près, ce qui peut perturber le comptage si les capteurs sont assez distants (6 mm dans mon cas). Il existe pas mal de cas qui perturbent le comptage et croyez moi elles font tout ce qu'elles peuvent pour ! J'ai délibérément opté pour un algorithme (une manière de faire succéder les ordres du programme, une logique de raisonnement) qui tienne compte des durées. De plus, je veux surtout connaître l'activité des butineuses et il me semble qu'elles rentrent et sortent d'une manière franche de la ruche. J'ai donc mesuré le temps de passage typique des abeilles devant les deux barrières. Le résultat est une durée moyenne de 0,23s (6 mm en  $0,23 \text{ s} = 16 \text{ m/min}$ ). Le logiciel teste quant à lui 25 000 fois par seconde l'état des barrières. Je considère par la suite que tout passage qui dure plus de 0,6 s et moins que 0,1 s est suspect. De cette manière, on ne peut pas compter à l'abeille près mais on a une très bonne estimation de l'activité de la ruche à un instant t. Avec l'expérience, je pense qu'il serait assez complexe d'obtenir un comptage à l'abeille près mais tout dépend du programme de comptage et de ce que l'on veut faire. On peut mettre au point des algorithmes beaucoup plus complexe que celui-ci. Un logiciel est toujours plus modifiable qu'une carte électronique. Je suis d'ailleurs en cours d'amélioration de ce dernier. Le logiciel archive pour chaque seconde de la journée, le nombre d'entrée(s) et de sortie(s) d'abeille(s) perceptible sur les capteurs. Il archive aussi le nombre d'entrées et de sorties pour chaque trou. On peut dresser une statistique d'utilisation des trous. Toutes ces informations représentent 169 000 octets de données par jour.

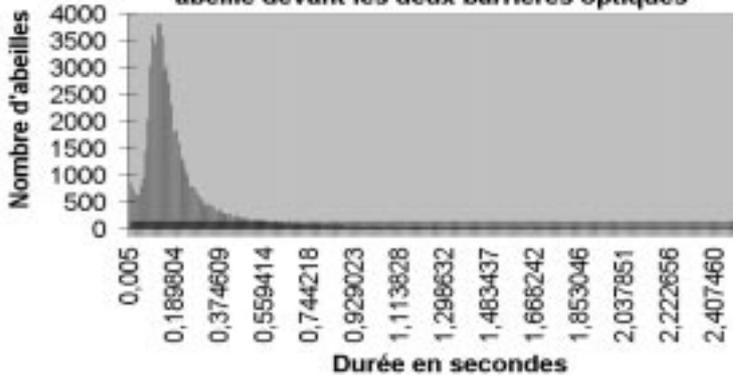
## Voici le détail de l'algorithme actuel :

```
Tant qu'on ne demande pas l'arrêt du programme faire
  Lire l'état de tous les capteurs à la fois
  Si la valeur d'un des capteurs a changé
    On stocke l'heure à la milliseconde
    Pour chaque barrière optique (39)
      Si l'état du capteur courant a changé
        On calcule la durée entre deux états du capteur
        Si la durée est significative et que l'abeille sort de la fourche
          On mémorise l'événement et sa durée dans une table des événements
          par capteur
        Fin si
      Fin pour
    Pour chaque barrière optique (39)
      Si il y a un événement de passage sur les deux capteurs d'une porte
        On calcule la durée entre les deux barrières optiques de la porte
        Si la durée n'est pas trop grande
          On archive l'événement comme entrée ou comme sortie
        Fin si
      Fin si
    Fin pour
  Fin si
Fin tant que
```

On peut imaginer d'autres alternatives algorithmiques. Je développe en ce moment un autre algo plus précis basé sur l'attente de fin d'événement. Mon objectif est le comptage à l'abeille près.

Toutes les données archivées sont brutes. Il faut créer d'autres logiciels pour les représenter sous forme graphique. Un de mes logiciels permet de tracer l'activité d'une ou plusieurs journée répartie sur le périmètre d'un disque. J'ai appelé cette représentation le soleil apicole par analogie de la forme obtenue.

**Histogramme de la durée du passage d'une abeille devant les deux barrières optiques**

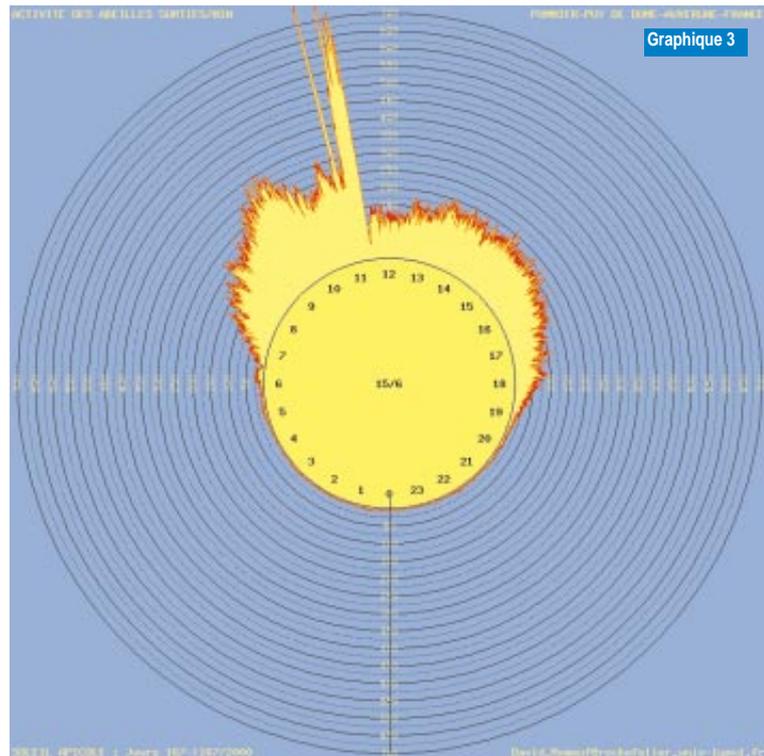
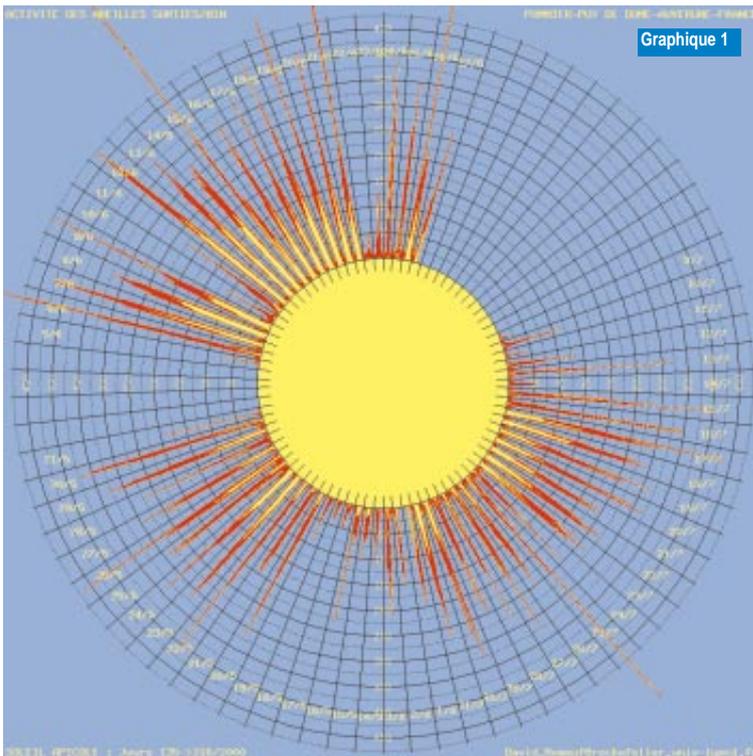
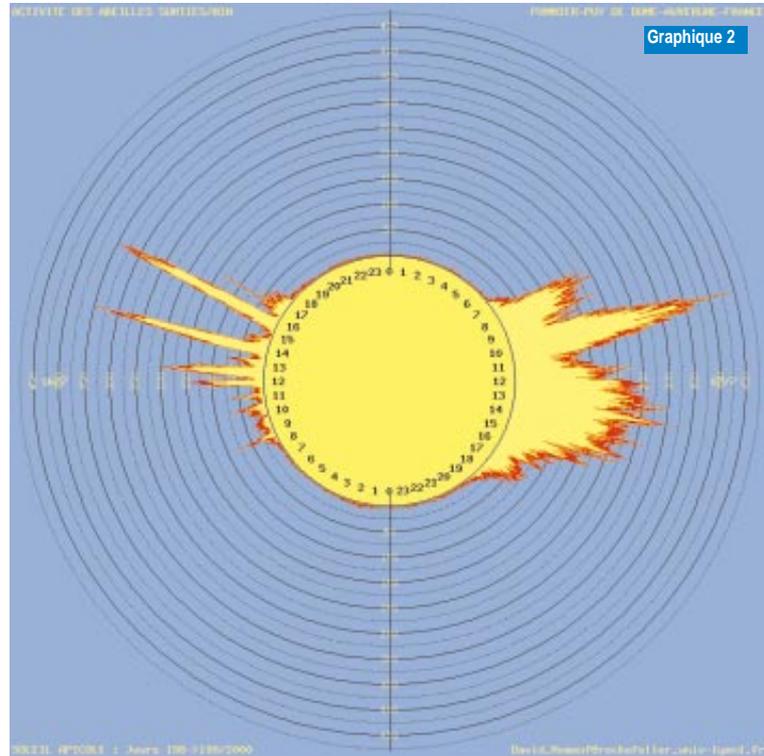


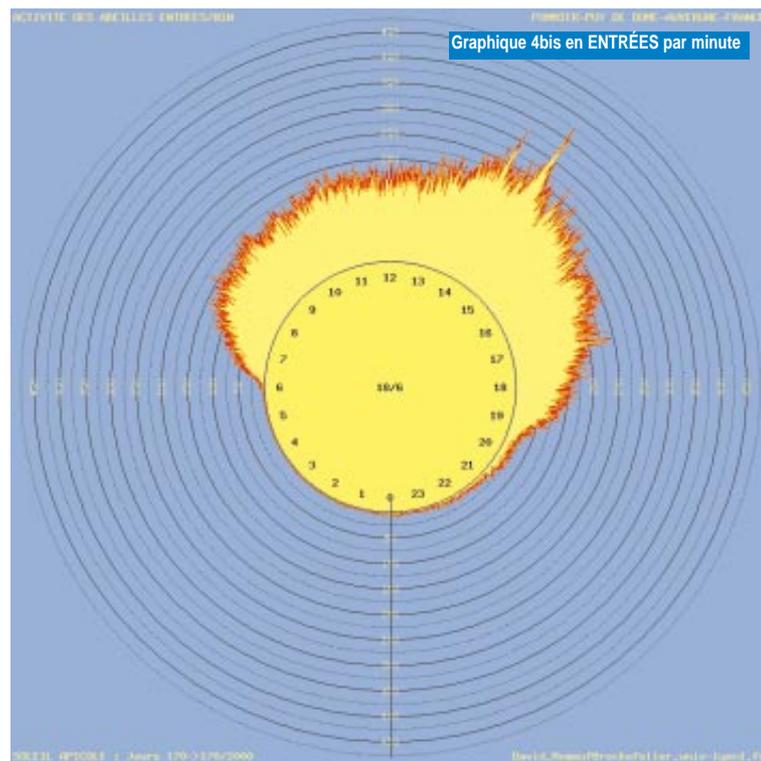
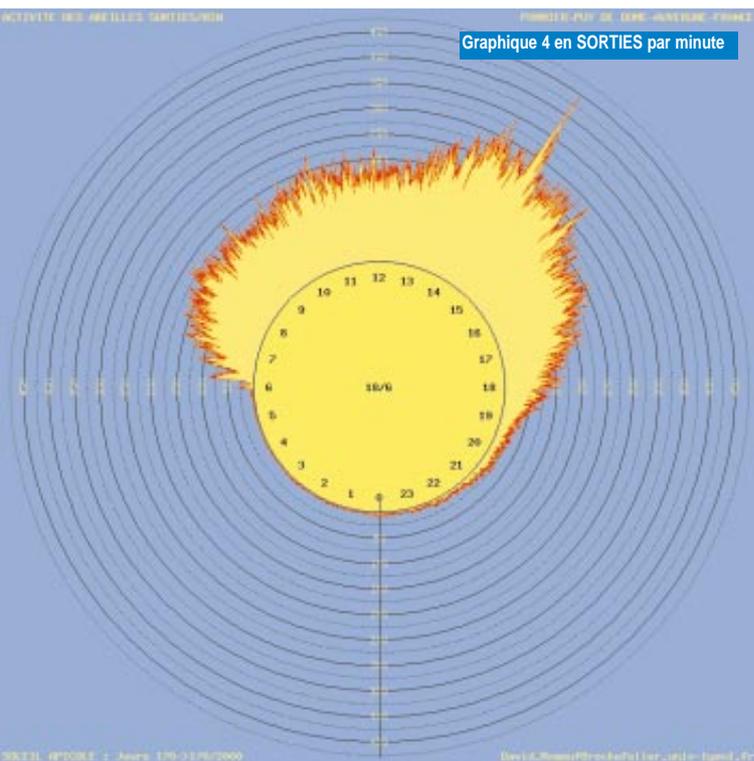
**LES PREMIERS RÉSULTATS :**

Le Soleil apicole du **graphique 1** montre l'activité en sorties/minute de la ruche dans la période du 14/05/2000 au 03/08/2000 (du 01/06/2000 au 05/06/2000 et du 28/06 au 8/07 le système n'a pas fonctionné car hors tension). Chaque cercle concentrique noir (périmètre) représente le taux de sorties/minute gradué de 50 à 450 s/min. Il permet une visualisation globale de l'activité et ainsi une comparaison. On notera une activité fréquente de 350 abeilles à la minute durant les miellés de juin, une activité

très importante les 15/06, 21/06 sans doute pour faire la barbe ? Quelques jours sans comme les 22 et 23/06, 14 juillet... On distingue bien les variations d'activités de la colonie. Le taux d'activité moyen diminue à la mi-juillet avec 250 abeilles à la minute.

Les journées se succèdent mais ne se ressemblent pas ! Le soleil apicole des 16 et 17 juillet 2000 (**graphique 2**) nous montre une activité très sac-





cadée mais soutenue de 350 abeilles/min entre les averses le 16 (à gauche). Le 17 juillet 2000 (à droite) révèle une activité (200 abeilles/min) démarrée très tôt le matin vers 7h TU (Temps Universel) soit 9 h civile en été. Une baisse sensible vers 11 h (50 abeilles/min) puis une activité accrue vers midi (450 abeilles/min). Elles ont peut être découvert une source mellifère importante. Pour une plante comme la phacélie, la production de nectar augmentent pendant la matinée pour atteindre un maximum vers 13 h :

Vite à la sortie de secours, il fait trop chaud !!! Le soleil apicole du 15 juin 2000 (**graphique 3**) nous montre une activité normale jusqu'à 11 h (250 abeilles/min) puis une activité fulgurante supérieure à 700 abeilles/min durant une quinzaine de minutes. Il faisait trop chaud dans le corps de la ruche, elles n'arrivaient plus à réguler la température, une partie de la colonie est sortie pour faire la barbe et ainsi abaisser la température du corps. Remarquez aussi la courte salve juste avant 11 h comme si un contingent montrait le chemin aux autres.

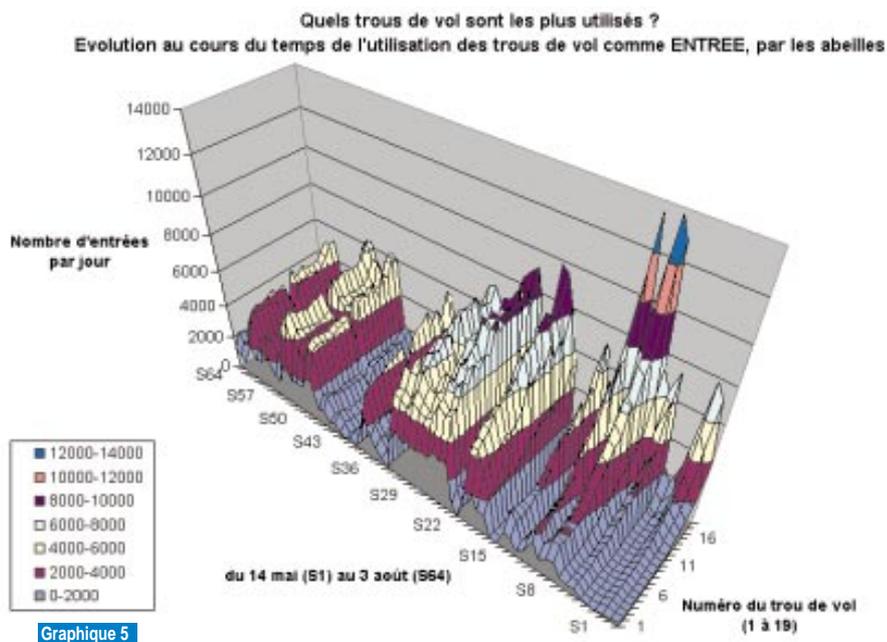
Voici enfin une longue journée d'été de butinage des plus typique. Le 18 juin 2000 (**graphique 4**, en sorties/min) le butinage commence très tôt après quelques repérages (50-100 abeilles/min) puis d'un coup vers 8h la colonie se met à l'ouvrage (200 abeilles/min) pour culminer au milieu de l'après midi à 300 abeilles/min. Les petites irrégularités sur le périmètre inférieure nous montrent une activité sur la planche d'envol même la nuit jusqu'à minuit. L'allure du **graphique 4bis** (le même jour mais en entrées/min) est sensiblement le même que le quatrième mais plus lissé. Par exemple, au début de la journée il y a des pics de sorties alors que les entrées s'effectuent de manière

plus douce dans le temps. Idem en soirée où les entrées dans la ruche s'effectuent plus massivement que les sorties.

### QUELS SONT LES TROUS DE VOLS LES PLUS UTILISÉS ?

Les **graphiques 5 et 6** montrent l'évolution du 14 mai 2000 au 3 août 2000 des trous de vols utilisés par les abeilles pour entrer ou sortir de la ruche.

Au départ de la mise en ruche de l'essaim d'italo-caucasienne (14 mai, Série S1), les abeilles ont tendance à utiliser les trous de vol les plus à



droite de la ruche (n°19) puis avec le temps les abeilles de retour de butinage répartissent leurs entrées assez uniformément en utilisant tous les trous de vol (mais en conservant un peu une tendance à droite). Elles entrent là où elles peuvent.

Par contre, cette constatation est totalement fautive concernant les sorties. Les abeilles ont plutôt tendance à sortir de la ruche pour butiner par les trous les plus à droite. Elles privilégient surtout les trous n°18 et 19.

## CONCLUSION

Ce mini projet informatique m'a permis de satisfaire ma curiosité d'un moment. J'envisage dans un futur proche de compléter les informations actuelles par d'autres mesures analogiques comme les températures dans la ruche, l'hygrométrie, les bruits des abeilles (spectres fréquences-temps), le niveau sonore, la durée d'éclairement, l'évolution du poids de la ruche... Ayant encore beaucoup à apprendre en apiculture, j'ai aussi très envie de réaliser cette ruche à vocation pédagogique. J'invite donc les collègues apiculteurs intéressés par cette démarche à me contacter.

David ROMEUF

Pommier - 63230 Chapdes-Beaufort - Auvergne  
[romeuf@rockfeller.univ-lyon1.fr](mailto:romeuf@rockfeller.univ-lyon1.fr)

