

**Développement de la résistance naturelle de l'abeille
à la varroase et aux pathologies du couvain**

rapport de projet

réalisé grâce à un appui financier
du fonds végétal du CRAAQ



par Jean-Pierre Chapleau

Les Reines Chapleau

mars 2002

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| TABLE DES MATIÈRES | 2 |
| RÉSUMÉ | 3 |
| INTRODUCTION | 5 |
| PROBLÉMATIQUE | 5 |
| OBJECTIFS GÉNÉRAUX | 5 |
| DISPOSITIF GÉNÉRAL | 6 |
| PREMIER VOLET: DÉVELOPPEMENT DE LA RÉSISTANCE À LA VARROASE | 6 |
| OBJECTIFS SPÉCIFIQUES | 6 |
| MÉTHODE UTILISÉE POUR LA SÉLECTION EN FONCTION DE LA RÉSISTANCE À LA VARROASE. | 7 |
| RÉSULTATS ET DISCUSSION..... | 8 |
| <i>Validation des indicateurs</i> | 8 |
| <i>Écart entre les taux d'infestation individuels des colonies</i> | 9 |
| <i>Écart de performance entre les lignées génétiques</i> | 10 |
| <i>Progression moyenne normale de la varroase au sein de l'ensemble du rucher au cours d'une saison apicole avant sélection</i> | 10 |
| <i>Élevage d'une première génération potentiellement plus résistante</i> | 11 |
| CONCLUSION..... | 11 |
| DEUXIÈME VOLET: DÉVELOPPEMENT DU COMPORTEMENT HYGIÉNIQUE | 12 |
| MÉTHODE | 12 |
| RÉSULTATS ET DISCUSSION..... | 12 |
| <i>Variabilité génétique et héritabilité</i> | 12 |
| <i>Comparaison avec les stocks extérieurs</i> | 13 |
| <i>Évolution de l'incidence de la loque américaine</i> | 13 |
| CONCLUSION..... | 14 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE | 14 |
| ANNEXES (TABLEAUX ET GRAPHIQUES COMPLÉMENTAIRES) | 15 |
| RÉFÉRENCES | 17 |

Résumé

Au cours de la saison apicole 2001 des travaux ont été réalisés à la ferme Les Reines Chapleau pour jeter les bases d'un programme d'amélioration génétique de l'abeille visant à développer son potentiel naturel de résistance à la varroase et aux maladies du couvain dans le contexte d'une stratégie de lutte intégrée.

La varroase et la loque américaine causent des pertes économiques importantes aux apiculteurs. Pour le moment les producteurs répondent essentiellement à ces maladies par la voie chimique. La varroase est présentement combattue par des traitements au fluvalinate. La loque américaine elle, est mise en échec par l'administration préventive d'oxytétracycline aux colonies. Or le bacille de la loque et le varroa développent tous deux une résistance à ces médicaments. Il est donc urgent de trouver des alternatives durables.

Développement de la résistance aux maladies du couvain

L'approche pour développer la résistance aux maladies du couvain a été de sélectionner et de reproduire les colonies qui exhibaient le meilleur comportement hygiénique. À cette fin un test spécifique a été utilisé. Ce test consistait à tuer une portion délimitée de couvain à l'aide d'azote liquide pour ensuite mesurer la capacité des colonies à nettoyer rapidement ce couvain mort (photo 3). Ce test a permis de mettre en valeur une variabilité génétique statistiquement significative entre la famille la plus hygiénique avec un indice de 89% et la famille la moins hygiénique (indice de 64%) au sein de notre stock. Le comportement hygiénique moyen de nos colonies a été établi à 78,2%. Plus du tiers de nos colonies de notre stock peuvent être classées comme hygiéniques selon le critère énoncé par Marla Spivak ⁽¹⁹⁾ (indice de 95% et plus). Comparativement, à peine 10% des colonies commerciales aux États-Unis sont hygiéniques. Le comportement hygiénique est aussi réputé favoriser la résistance au varroa car les abeilles hygiéniques expulsent souvent les larves qu'elles trouvent parasitées. Cet axe de sélection facilitera donc le travail d'amélioration génétique pour la résistance à la varroase. Des observations préliminaires tendent à confirmer qu'un meilleur comportement hygiénique des colonies se traduit par une incidence moindre de la loque américaine.

Développement de la résistance à la varroase

Pour combattre la varroase, ce projet proposait d'évaluer globalement les colonies sur la base de leur plus ou moins bonne aptitude à ralentir la progression de leur population de varroas. Cette approche globale a été choisie car les comportements et caractéristiques connus contribuant à la résistance sont multiples. Il peut aussi exister des caractéristiques de résistance non encore identifiées.

Dans la perspective de développer une approche de lutte intégrée, les 254 colonies en sélection ont été équipées de plateaux antivarroas (photo 2). Ce type de plateau ralentit le développement de l'infestation en éliminant de la ruche tous les varroas vivants qui tombent de la grappe d'abeilles. Ceci permettait donc aux colonies qui ont un meilleur comportement d'épouillage de bien se démarquer des autres. La présence de varroas mutilés sur les cartons d'échantillonnage, comme le montre la photo 1,

confirme la présence de ce comportement chez nos abeilles. De plus l'usage de ce plateau a grandement facilité l'échantillonnage des colonies tout au long du projet.

Les indicateurs choisis pour évaluer les populations de varroas ont pu être validés statistiquement et la procédure de sélection et d'élevage a pu être mise à l'épreuve par la production d'une première génération sélectionnée. Le jugement final sur la performance des colonies a pu être porté grâce aux résultats d'un échantillonnage au fluvalinate de deux jours effectué au début de septembre. Ces résultats ont été fortement corrélés ($r=0.99$) aux populations totales de varroas des colonies. Plusieurs échantillonnages prolongés en mortalité naturelle peuvent aussi servir d'indicateur précoce pour identifier dès juillet les reproductrices potentielles. Grâce à cette façon de procéder une génération d'abeilles sélectionnée pour la résistance à la varroase a pu ainsi être produite dès la première année. L'indicateur de fin de saison a permis de valider ces choix. Le recours à un indicateur précoce devrait être retenu car il permet de sauver un temps très précieux dans le contexte en élevant une génération sélectionnée à chaque année.

On a constaté des écarts très importants, allant jusqu'à 400% entre les taux d'infestation individuels des colonies. Lorsque la performance moyenne des différentes familles génétiques a été établie, on a trouvé des écarts statistiquement significatifs variant de 27% à 150% entre 4 paires de lignées. À noter que cette génération n'avait pourtant pas été sélectionnée sur la base de la résistance à la varroase. La présence de cette variabilité génétique très importante laisse entrevoir que des gains majeurs peuvent être réalisés par une sélection effectuée sur la base de la résistance à la varroase lorsque les colonies en sélection sont logées dans des ruches équipées de plateaux antivarroas.

Élevage d'une première génération potentiellement plus résistante aux maladies

Au terme de cette sélection huit colonies s'étant distinguées sur le plan de la résistance à la varroase, du comportement hygiénique et des autres caractéristiques d'importance pour l'apiculture (productivité, rusticité, etc.) ont pu être identifiées. Une première génération potentiellement plus résistante a été élevée de ces reproductrices et pourra être évaluée au cours de l'été 2002.

Introduction

Au cours de la saison apicole 2001 des travaux préliminaires ont eu lieu à la ferme Les Reines Chapleau pour jeter les bases d'un programme global d'amélioration génétique de l'abeille visant à développer son potentiel naturel de résistance à la varroase et aux maladies du couvain. Ces travaux ont été réalisés grâce à un soutien financier du Fonds végétal du CRAAQ.

Problématique

Présentement les apiculteurs combattent les diverses maladies et parasitoses de l'abeille par des moyens chimiques essentiellement. Les deux principaux fléaux auxquels les apiculteurs doivent faire face sont la varroase, parasitose virulente nouvellement établie au Québec qui décime les colonies en quelques années, et la loque américaine, une infection bactérienne contagieuse et fatale du couvain.

Deux produits seulement sont homologués pour le traitement de la varroase: l'acide formique et le fluvalinate. L'acide formique est très peu utilisé étant donné son niveau d'efficacité généralement faible et aussi très variable dans le contexte climatique québécois. Le fluvalinate est le plus couramment utilisé mais il est bien connu que les acariens développent rapidement une résistance à cette molécule. L'expérience de la France, de l'Italie et des États-Unis nous montrent que les traitements au fluvalinate deviennent complètement inefficaces après seulement une dizaine d'années d'utilisation. Même ici au Canada on a constaté à l'automne 2001 l'apparition de la résistance dans plusieurs provinces canadiennes dont le Nouveau-Brunswick. On peut s'attendre à ce que la résistance gagne les ruchers québécois d'ici deux ou trois ans au plus tard.

La loque américaine est à peu près universellement combattue par l'administration préventive d'un antibiotique, l'oxytétracycline. Or le bacille responsable de cette pathologie démontre une résistance croissante à cet antibiotique. Aucun antibiotique de substitution n'est présentement disponible. Cette nouvelle résistance est apparue d'abord en Amérique du Sud. Elle est quasi généralisée aux États-Unis et se répand de plus en plus dans les provinces de l'Ouest canadien.

Les méthodes de lutte chimique semblent à long terme représenter un cul-de-sac en apiculture. Après quelques décennies seulement on constate non seulement les limites mais aussi les dangers de l'arsenal chimique. L'utilisation de pesticides dans les ruches représente un risque de contamination pour le miel et les autres produits de la ruche. Elle comporte aussi des dangers pour l'apiculteur qui manipule ces produits. L'approche chimique a aussi en quelque sorte constitué une surprotection pour notre abeille et lui a fait perdre une partie de ses résistances naturelles. L'exemple des États-Unis nous montre à quel point l'abeille peut devenir faible et vulnérable devant les pathologies et parasitoses.

Il faudrait donc, de façon presque urgente, disposer des moyens alternatifs pour faire face aux pathologies et parasitoses de l'abeille.

Objectifs généraux

Le présent projet s'insère dans le cadre du développement d'une stratégie de lutte intégrée contre les maladies et parasitoses des abeilles. L'utilisation d'abeilles résistantes aux maladies est vue comme l'arme principale dans une telle stratégie. Ce projet vise donc à jeter les bases d'un travail d'amélioration génétique pour développer le potentiel naturel de résistance de l'abeille face aux pathologies et à la varroase. Sans délaisser les caractéristiques générales d'intérêt de l'abeille (productivité, rusticité, faible tendance à l'essaimage, etc.) deux nouveaux axes de sélection sont développés:

Premier objectif: **développer la résistance à la varroase**

Le présent projet vise à augmenter globalement la résistance naturelle de l'abeille à la varroase, plus particulièrement il vise à développer concrètement et à mettre en œuvre un plan de sélection à cette fin.

Deuxième objectif: *développer le comportement hygiénique*

Le deuxième objectif de ce projet était de développer le comportement hygiénique de l'abeille par sélection. Il a été reconnu que les colonies d'abeilles sont plus ou moins efficaces à nettoyer leur nid, plus spécifiquement à identifier et à évacuer les larves et nymphes mortes. Un bon comportement hygiénique réduit grandement la dissémination des microorganismes pathogènes dans la ruche et par le fait même l'incidence de plusieurs maladies, en particulier celle de la loque américaine. Il a aussi été démontré que les colonies hygiéniques résistent mieux au couvain plâtré et même à la varroase (Corrêa-Marquez, Cavicchio, & De Jong²¹ et Arachevaleta-Velasco & Guzman²²), les abeilles évacuant en partie les larves parasitées. Indirectement, la sélection pour le comportement hygiénique accélèrera donc le développement de la résistance à la varroase. Le second objectif s'articule ainsi avec le premier.

Dispositif général

254 colonies d'abeilles réparties dans plusieurs ruchers, exploitées normalement selon les impératifs de la production et soumises à des évaluations pour leur rusticité ainsi que pour leur productivité ont aussi servi de bassin de sélection pour l'amélioration de la résistance à la varroase ainsi que pour l'amélioration du comportement hygiénique. Toutes les colonies en sélection étaient équipées de plateaux antivarroas dont le fond grillagé a été maintenu fermé durant toute la saison (Chapleau²⁰). Quelques colonies ont dû être retirées de la sélection pour des raisons diverses (dommage d'ours, changement naturel de reine, etc.). 172 colonies ont pu être retenues.

Toutes les colonies ayant participé à l'évaluation avaient à leur tête des reines identifiées quant à leur souche génétique. Dans chaque rucher les reines des colonies étaient issues d'au moins 3 ou 4 lignées, à peu près également représentées. Ces colonies avaient reçu un traitement à l'Apistan (fluvalinate) d'une durée variant de 15 à 21 jours à l'automne 2000. Toutes ont aussi fait l'objet d'un dépistage avec deux lanières d'Apistan pendant 24 heures le premier mai. Le but était d'estimer leur population de varroa au départ de la saison d'expérimentation. Le nombre moyen de varroas recueillis sur les cartons d'échantillonnage a été de 127. Il a été estimé que ce nombre étaient trop élevé et compromettait la survie des colonies durant la saison. Cette estimation a été faite en tenant compte du fait que, étant donné que pratiquement aucun couvain n'avait encore éclos dans les colonies et que le ratio généralement accepté de un varroa sur abeilles adultes pour quatre varroas dans le couvain aurait dans ce cas précis probablement mené à une dangereuse sous-estimation de la population totale de varroas des colonies. Une vérification effectuée sur un nombre restreint de colonies a permis d'évaluer que les populations totales de varroas se situaient le plus souvent entre 1000 et 2000 individus. Un traitement d'une durée de trois semaines avec deux lanières d'Apistan a donc été appliqué dès le début de mai à toutes les colonies. Nous avons estimé que la population totale de varroas restant dans les colonies après traitement devait se situer autour de 300 en moyenne. Toutes les colonies retenues pour la compilation finale ont été rigoureusement opérées de la même façon durant la période des essais.

À la fin de la période d'évaluations un élevage de reines a été réalisé à partir des colonies ayant obtenu les meilleurs scores autant pour la résistance au varroa que pour le comportement hygiénique et les autres critères de sélection courants de notre programme. Dix à vingt filles de chaque lignée ont été introduites dans des colonies pour être évaluées en 2002.

Premier volet: développement de la résistance à la varroase

Objectifs spécifiques

Nous voulions produire une première génération sélectionnée sur la base de la résistance à la varroase, mais nous voulions d'abord confirmer la faisabilité d'une telle entreprise et valider la procédure de sélection.

Plus spécifiquement nous voulions:

- 1. valider des indicateurs permettant d'évaluer la performance individuelle des colonies;***
- 2. quantifier la progression de la varroase au sein des colonies individuelles au cours d'une saison apicole afin de constater si cette progression diffère entre les colonies (recherche de variabilité);***
- 3. vérifier si les différences de performance entre les colonies résultent d'une variabilité génétique pour cette caractéristique et vérifier si cette variabilité génétique est suffisante pour permettre un travail de sélection;***

4. *quantifier la progression moyenne normale de la varroase au sein de l'ensemble du rucher au cours d'une saison apicole afin de disposer d'un point de comparaison pour évaluer les gains futurs de la sélection;*
5. *procéder à l'élevage d'une première génération à partir de colonies plus "résistantes" au varroa et identifier puis résoudre toute difficulté pouvant survenir lors de l'application du plan de sélection et d'élevage.*

Méthode utilisée pour la sélection en fonction de la résistance à la varroase.



photo 1

Plusieurs facteurs peuvent contribuer à la tolérance plus ou moins grande des colonies face à la varroase. Le comportement hygiénique des abeilles est un des facteurs pouvant freiner le rythme de développement de la population de varroas (photo 1) au sein d'une colonie. La longueur de la période d'operculation du couvain et le comportement d'épouillage sont aussi des facteurs qui contribuent à la résistance. D'autres facteurs, connus et inconnus, peuvent aussi influencer le degré de résistance. Pour cette raison nous avons favorisé une évaluation de la résistance en situation réelle, et ce par le biais d'un critère constituant une mesure globale, peu importe le ou les mécanismes spécifiques à son origine. Les colonies les plus résistantes seront celles qui d'abord réussiront le mieux à ralentir le développement de leur population de varroas. Nous avons donc choisi de refléter cette performance globale par un indice constitué par le rapport entre le taux de progression de la population de varroas au sein d'une colonie individuelle et le taux moyen de progression pour l'ensemble des colonies de son rucher. Le recours à un indice relatif a été justifié par les écarts importants dans la progression des populations de varroa entre les différents ruchers.

Toutes les colonies en sélection ont été équipées de plateaux antivarroas (photo 2) pour deux raisons. D'abord ce type de plateaux permet aux colonies d'exprimer pleinement leur comportement d'épouillage (Chapleau²⁰). Ce comportement variable est autrement masqué, si les colonies sont logées dans des ruches équipées de plateaux traditionnels, car les varroas rejetés sur le plateau par les abeilles ont vite fait de réintégrer la colonie en s'agrippant à n'importe quelle abeille circulant sur le plateau. Le plateau antivarroas élimine tous les varroas qui chutent. Les chances d'arriver à bien identifier les colonies qui font une meilleure guerre aux varroas sont ainsi augmentées. Le varroa mutilé sur la photo 1 montre que ce comportement est bien présent au sein de notre stock. Deuxièmement, l'usage du plateau antivarroas facilite grandement le dépistage (Chapleau²⁰) et donc l'évaluation de la progression de la varroase dans les colonies individuelles. Il permet le dépistage en mortalité naturelle, et ce même sur une période prolongée pour une meilleure sensibilité. Cet aspect est particulièrement important car il permet de faire des évaluations durant le cours de la saison de production même alors que des hausses à miel sont sur les ruches et qu'un dépistage à l'aide de fluvalinate est impensable.



photo 2

Afin de mesurer le taux de progression des populations de varroas des colonies au cours d'une saison, trois dépistages ont servi d'indicateurs: un au début de la saison, un au milieu de la saison et un à la fin de la saison. L'indicateur de mi-saison est nécessaire si on veut pouvoir procéder à l'élevage d'une génération de reines l'année même de la sélection. La date limite pour procéder à un élevage de reines dans notre contexte est à peu près le 15 juillet. Dans notre intention l'échantillonnage de mi-saison devait donc servir d'indicateur précoce pour choisir les colonies reproductrices qui fonderaient la nouvelle génération de reines. Le dépistage de fin de saison devait constituer la confirmation des choix faits grâce à l'indicateur précoce. Donc toutes les colonies ont fait l'objet d'un dépistage avec deux lanières d'Apistan pendant 24 heures le premier mai. L'échantillonnage de mi-saison a été réalisé dans la première semaine de juillet. Il s'agissait d'un échantillonnage en mortalité naturelle d'une durée d'une semaine. Comme nous l'avons laissé entendre plus haut, à cette date il n'est pas possible de faire un dépistage au fluvalinate à cause de la présence des hausses à miel sur les colonies. L'échantillonnage de fin de saison a été fait entre le 5 septembre et le 15 septembre avec deux lanières d'Apistan durant 48 heures. Toutes les colonies d'un même rucher ont toujours été échantillonnées simultanément. Toute cette approche était cependant à valider. Nous

voulions vérifier le degré de précision des indicateurs retenus, c'est-à-dire vérifier si les comptes de varroas qu'ils fournissent sont suffisamment bien corrélés avec les populations totales de varroas des colonies.

Résultats et discussion

Validation des indicateurs

Nous avons donc vérifié la validité de chacun de nos trois indicateurs. Pour l'indicateur de printemps, nous avons tout simplement vérifié la corrélation entre la chute d'acariens obtenue par le dépistage au fluvalinate de 24 heures du 30 avril avec celle obtenue durant les trois semaines complètes du traitement qui a suivi pour un groupe restreint de 4 colonies. La chute de varroas du 30 avril n'a représenté que 2.8% du nombre total de varroas recueillis durant les trois semaines au lieu du 25% à 30% auquel on aurait pu s'attendre. La chute de varroas du 30 avril n'a pas été non plus corrélée avec le compte total des trois semaines (tableau 1). L'explication trouvée à posteriori est que à peu près aucun couvain n'ayant éclos à cette date, la quasi totalité de la population hivernante de varroas avait pu intégrer progressivement des cellules de couvain. Faute d'éclosion, la population de mites en phase phorétique n'avait donc pas été renouvelée. Ceci nous apprend donc que le début du printemps est un très mauvais moment pour tenter d'évaluer la population de varroas d'une colonie au moyen d'un échantillonnage. Cependant le traitement qui a suivi a beaucoup rabaisé les populations de varroas des colonies, autour de 300 acariens en moyenne selon nos estimés, réduisant ainsi énormément les écarts entre les colonies individuelles.

| validation de l'indicateur du début de mai | | |
|--|-------|----------------|
| ruche | 1-May | total 12 jours |
| 251 | 43 | 1381 |
| 106 | 50 | 1154 |
| 512 | 53 | 1042 |
| 999 | 43 | 2455 |
| moyenne | 47 | 1508 |
| % du total | 2.8% | |
| corrélation | -0.73 | |

Tableau 1

La validation de l'indicateur de fin de saison (l'échantillonnage de 48 heures avec Apistan) a été obtenue en poursuivant le traitement au fluvalinate durant 37 jours et en comparant les comptes de varroas des deux premiers jours avec ceux des populations totales. Cette fois la population recueillie au cours des deux premières journées a représenté 28% en moyenne de tous les acariens de la colonie. Nous avons trouvé une corrélation presque parfaite ($r= 0.99$) qui valide pleinement le choix de cet indicateur (tableau 2).

| Répartition de la chute des varroas sur la durée d'un traitement automnal de 37 jours | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------|--------|-----------|------------|------------|--------------|----------|-----------|-------|
| | 2 | 1 | 1 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 2 | 37 |
| no | 6 et 7 sept | 6 sept | 7 sept | 8-12 sept | 13-19 sept | 20-27 sept | 28 sept-4oct | 5-11 oct | 12-13 oct | total |
| 713 | 155 | 81 | 74 | 123 | 166 | 22 | 1 | 1 | 0 | 468 |
| 300 | 177 | 103 | 74 | 231 | 181 | 18 | 89 | 3 | 20 | 719 |
| 106 | 518 | 353 | 165 | 516 | 465 | 80 | 115 | 11 | 11 | 1716 |
| 376 | 267 | 167 | 100 | 552 | 550 | 169 | 238 | 47 | 45 | 1868 |
| 999 | 787 | 610 | 177 | 604 | 584 | 26 | 37 | 8 | 14 | 2060 |
| 085 | 693 | 377 | 316 | 1219 | 1104 | 53 | 116 | 7 | 34 | 3226 |
| 994 | 770 | 350 | 420 | 995 | 930 | 304 | 238 | 73 | 36 | 3346 |
| 877 | 1471 | 738 | 733 | 1805 | 1688 | 455 | 187 | 37 | 4 | 5647 |
| 917 | 2008 | 1465 | 543 | 2252 | 1804 | 137 | 165 | 4 | 54 | 6424 |
| 251 | 2515 | 1571 | 944 | 2560 | 2504 | 788 | 286 | 90 | 22 | 8765 |
| 706 | 3118 | 2163 | 955 | 3562 | 2948 | 440 | 145 | 20 | 49 | 10282 |
| total | 12479 | 7978 | 4501 | 14419 | 12924 | 2492 | 1617 | 301 | 289 | 44521 |
| % | 28% | 18% | 10% | 32% | 29% | 6% | 4% | 1% | 1% | |

Tableau 2

Suite à ces deux résultats, nous avons donc trouvé plus prudent de nous baser uniquement sur les résultats du dernier indicateur pour classer les colonies sur la base de leur capacité individuelle à contenir la progression de leur population de varroas. Cependant l'indicateur de printemps a néanmoins été utile pour établir les taux moyens d'infestation comparatifs de nos différentes lignées au départ.

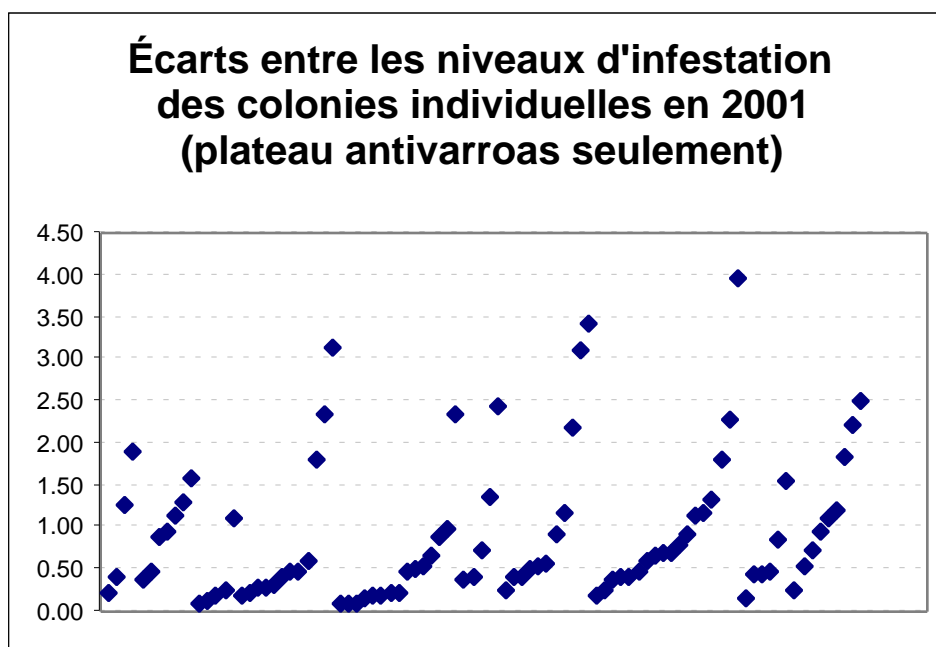
| ruche | mortalité naturelle | | | Apistan |
|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| | 3-10 juill qté/jour | 18-26 juill qté/jour | somme juillet | 48 h 6-7 sept |
| 376 | 0.14 | 0.88 | 1.015 | 267 |
| 994 | 0.28 | 2.88 | 3.155 | 770 |
| 673 | 0.42 | 1.00 | 1.42 | 419 |
| 999 | 0.57 | 5.25 | 5.82 | 787 |
| 529 | 0.71 | 1.88 | 2.585 | 471 |
| 584 | 1.00 | 2.13 | 3.125 | 683 |
| 106 | 1.00 | 2.25 | 3.25 | 518 |
| 877 | 1.00 | 4.88 | 5.875 | 1471 |
| 553 | 1.00 | 2.13 | 3.125 | 1840 |
| 855 | 1.28 | 1.63 | 2.905 | 457 |
| 512 | 1.28 | 5.50 | 6.78 | 1259 |
| 864 | 1.43 | 4.75 | 6.18 | 1029 |
| 251 | 1.57 | 12.13 | 13.695 | 2515 |
| 557 | 2.14 | 3.38 | 5.515 | 893 |
| 917 | 2.71 | 14.75 | 17.46 | 2008 |
| corrélation | 0.58 | 0.81 | 0.81 | |

Tableau 3

Pour ce qui est de l'indicateur précoce nous avons tout simplement comparé ses résultats avec ceux de l'indicateur de fin de saison pour l'ensemble de l'échantillon en sélection. Nous avons trouvé une corrélation positive moyenne ($r = 0.42$). Par contre, pour un échantillon restreint de 15 colonies, nous avons effectué un second dépistage en mortalité naturelle d'une semaine à la fin de juillet (18-26 juillet). Nous avons obtenu alors une corrélation nettement plus élevée ($r = 0.81$). Lorsque les résultats des deux échantillonnages précoces ont été cumulés, la corrélation est restée du même ordre ($r = 0.81$) (tableau 3). Le résultat du second échantillonnage précoce étant disponible avant le moment d'introduire les jeunes reines de la nouvelle génération, il permet donc de déterminer les lignées à retenir au

moment de l'introduction. L'échantillonnage de fin de saison apporte ensuite une confirmation définitive. Nous croyons que l'utilisation d'un indicateur précoce consistant au minimum en deux échantillonnages d'une semaine en mortalité naturelle en

juillet, combinée à l'indicateur de fin de saison, serait l'approche la plus sûre. À noter que les coûts pour les dépistages en mortalité naturelle sont moins élevés à cause de l'économie du fluvalinate et aussi à cause du temps moindre requis pour le compte des varroas sur les cartons d'échantillonnage. Par ailleurs la façon d'éviter la difficulté d'évaluer les populations de varroas du printemps serait de ramener toutes les colonies à un même niveau d'infestation en leur administrant toutes un traitement complet à l'automne précédent.



graphique 1

Écarts entre les taux d'infestation individuels des colonies

La comparaison des taux d'infestation individuels des colonies a mis en évidence des écarts atteignant plus de 400% (graphique 1). Sur le graphique 1, la cote "1" représente le niveau d'infestation moyen.

Écarts de performance entre les lignées génétiques

Les taux d'infestation printaniers et automnaux relatifs de quelques lignées génétiques différentes ont été compilés (voir tableau 4).

Toutes ces colonies étaient dans des ruches équipées de plateaux antivarroas, ce qui leur permettait d'exprimer pleinement leur comportement d'épouillage. Ces taux d'infestation ont été exprimés par un indice (pourcentage d'infestation d'une colonie par rapport au taux d'infestation moyen du rucher). Ainsi l'indice "1" représente le taux moyen d'infestation et un indice inférieur à "1" indique un

| Classement des lignées selon leur degré de résistance apparente | | | | |
|---|--------------------------|----------------------------|----------------------|---------------|
| lignée | infestation moy. automne | infestation moy. printemps | indice de résistance | force moyenne |
| AS | 0.52 | 1.77 | 1.25 | 5.8 |
| JU | 0.79 | 1.71 | 0.92 | 8.6 |
| FC | 0.78 | 1.33 | 0.55 | 8.2 |
| MA | 0.83 | 1.32 | 0.49 | 7.8 |
| OU | 0.89 | 1.22 | 0.33 | 9.3 |
| MT | 0.66 | 0.79 | 0.13 | 6.5 |
| VL | 0.83 | 0.93 | 0.10 | 6.5 |
| TE | 1.02 | 1.09 | 0.07 | 6.4 |
| ME | 1.13 | 0.99 | -0.14 | 5.0 |
| ET | 0.90 | 0.74 | -0.16 | 8.0 |
| VE | 1.19 | 0.94 | -0.25 | 5.2 |
| TN | 1.18 | 0.75 | -0.43 | 8.2 |
| LU | 1.67 | 0.78 | -0.89 | 8.7 |

Tableau 4

taux d'infestation moindre. Les indices moyens de printemps (**Ip**) et d'automne (**Ia**) ont été établis pour chaque lignée. Ces indices traduisent en quelque sorte le rang, en terme de niveau d'infestation, de chaque lignée et pour le printemps, et pour l'automne. Un indice de résistance a été aussi obtenu en comparant le gain ou la perte de rang de chaque lignée entre l'automne et le printemps. La formule pour établir l'indice de résistance a été la suivante: $[-(Ia - Ip)]$. Un indice de résistance supérieur à 0 indique donc ainsi que la colonie a amélioré son rang par rapport aux autres lignées. Parallèlement la force moyenne des colonies de chaque lignée a aussi été calculée. Ceci était nécessaire car nous avons trouvé (Chapleau²⁰) que la force de la colonie semblait influencer sur la progression de son taux d'infestation. Les colonies plus fortes voient leur taux d'infestation progresser plus vite (voir annexe II). Il fallait s'assurer que cette donnée ne faussait pas les comparaisons. Le tableau 4 donne la liste des lignées classées selon leur indice de résistance théorique (graphique 2). Il inclut aussi la force moyenne de la lignée. Nous avons comparé statistiquement deux à deux quelques lignées pour lesquelles on constatait des forces printanières soit égales, soit à l'avantage de la lignée la moins "résistante". Ces

| Écarts de performance (résistance) significatifs entre les lignées | | |
|--|--------------------|---------------|
| comparaisons | écart significatif | p (student T) |
| mt et me | 27% | 0.02 |
| mt et ve | 38% | 0.03 |
| as et ve | 150% | 0.04 |
| as et me | 139% | 0.01 |

Tableau 5

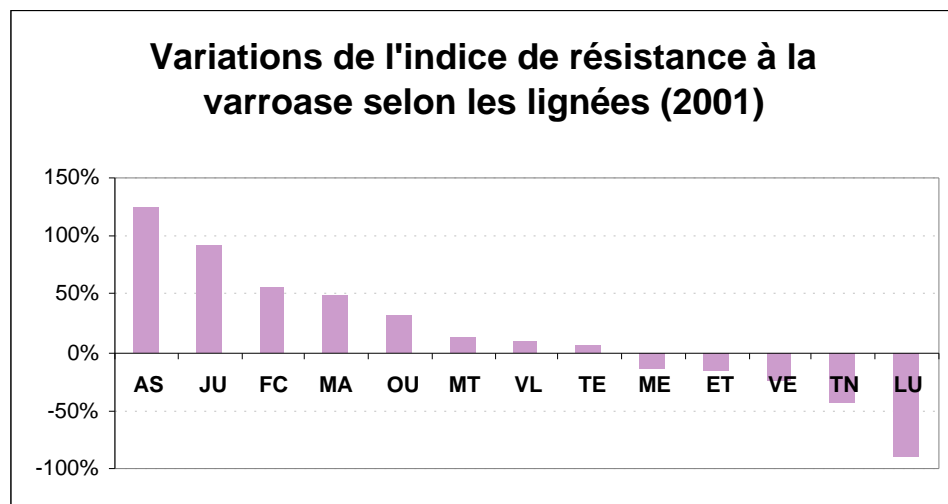
comparaisons ont été faites à l'aide du test Student T. Des différences significatives variant de 27% à 150% ont été trouvées pour quatre paires de ces lignées (tableau 5). C'est donc dire qu'il y a au sein de notre stock une variabilité très importante sur la base de la résistance à la varroase, largement suffisante pour amorcer un travail de sélection. Il faut souligner en plus que le choix des reines fondatrices des lignées de 2000 que nous avons comparées ici n'avait pas tenu compte du niveau de résistance à la varroase. Cette situation laisse entrevoir la possibilité de réaliser des gains très importants lorsque le travail de sélection inclura la résistance à la varroase comme critère additionnel.

Progression moyenne normale de la varroase au sein de l'ensemble du rucher au cours d'une saison apicole avant sélection

Il importe de connaître en termes mesurables le rythme de progression normal de la varroase dans un rucher avant de débiter tout travail d'amélioration génétique. Cette donnée de base servira à mesurer le progrès accompli par la sélection. Cette évaluation avait déjà pu être faite au cours de la saison 2000 grâce aux données recueillies dans le cadre d'un projet d'expérimentation du plateau de ruche "antivarroas". Nous avons évalué que la population moyenne de varroas des colonies grimpait en moyenne jusqu'à 9366 individus au début de septembre. Les comptes

moyens réalisés au cours des premiers 24 heures de dépistage automnal ont été de 1686 varroas. Ces données ont été recueillies à partir des résultats d'échantillonnage de 131 colonies. En 2001 nous avons pu évaluer que la chute de varroas du premier 24 heures d'échantillonnage de septembre représentait 18% de la population totale de varroas de la colonie (tableau 2).

L'évaluation de la progression de la population moyenne normale n'a pu être refaite en 2001 parce que les colonies n'avaient pas subi un traitement complet à l'automne 2000 et parce qu'un autre traitement partiel leur a été administré en mai. De nouvelles observations pourraient être faites en 2002 à partir des colonies de lignées de 2001 non sélectionnées en fonction de la résistance à la varroase.



graphique 2

Élevage d'une première génération potentiellement plus résistante

Dix colonies ont pu être identifiées comme reproductrices potentielles sur la base de l'indicateur précoce de résistance du début de juillet (voir annexe I). Un élevage limité d'une vingtaine de reines filles a été réalisé à partir de cette sélection précoce. L'échantillonnage de fin de saison a donné des résultats en accord avec l'indicateur précoce dans 6 cas sur 10. Le second échantillonnage en mortalité naturelle n'a pas pu être utilisé, ayant été effectué seulement sur un échantillon limité à titre exploratoire. Deux autres lignées seront néanmoins considérées comme potentiellement résistantes. L'une d'entre elles (CISO) montrait une performance inférieure à la moyenne d'après son indicateur précoce, mais en fait s'est avérée supérieure à la moyenne de 33% à l'échantillonnage d'automne. L'autre (ABAS) a eu un indice précoce de "1" seulement, soit égal à la moyenne de son rucher, mais elle a quand même été retenue à cause de la performance exceptionnelle de toutes ses sœurs. De plus sa population absolue de varroas de fin de saison était très basse. Il était aussi difficile dans ce cas de se fier uniquement à l'indicateur relatif à cause du très petit nombre de colonies en comparaison dans son rucher à la suite de pertes importantes causées par les ours.

Conclusion

Nous avons démontré qu'il existe une au sein de notre stock une grande variabilité génétique pour ce qui est de la résistance naturelle à la varroase. Nous croyons pertinent de poursuivre un programme de sélection sur la base de cette caractéristique. Les conditions suggèrent une excellente probabilité de succès.

Nous avons aussi pu mettre à l'essai une procédure d'évaluation. Celle-ci s'est avérée être applicable et avoir, après ajustements, un niveau de fiabilité suffisant. Afin de ne pas perdre de précieuses années de sélection, car le temps presse, nous suggérons, comme nous l'avons fait, de sélectionner les colonies reproductrices d'abord sur la base d'un indicateur précoce consistant en des dépistages en mortalité naturelle en juillet, confirmés définitivement par l'échantillonnage de septembre. Cette façon de faire permettra de produire une nouvelle génération améliorée par année au lieu d'une génération à tous les deux ans. Tenant compte des limites du dispositif de sélection utilisé en 2001, et tenant compte en plus de la nécessité de répondre adéquatement aux autres critères de sélection (récolte, rusticité, etc.), il a été possible d'identifier 8 colonies reproductrices regroupant toutes les qualités souhaitées (voir annexe I). Ces reproductrices ont été de 30% à 58% plus résistantes que la moyenne (en moyenne 44% plus résistantes).

Deuxième volet: développement du comportement hygiénique

Méthode

Les évaluations pour le comportement hygiénique ont été faites durant la dernière semaine de juin. Les colonies ont été mise à l'épreuve en tuant par congélation une petite portion déterminée de leur couvain operculé à l'aide d'azote liquide et en évaluant la capacité de leurs abeilles à détecter et à évacuer rapidement les nymphes mortes (Spivak & Reuter¹⁹). Afin d'obtenir un niveau de difficulté constant le test a été appliqué à partir de couvain rigoureusement du même âge. Dans chaque colonie un cadre contenant une zone de couvain operculé dont les nymphes avaient atteint le stade des yeux roses a été sélectionné et débarrassé de ses abeilles. Un morceau de tuyau métallique de 5,5 cm de longueur sur un diamètre de 5 cm dont le bout avait été affilé a été enfoncé sur la portion de couvain choisie afin de contenir l'azote liquide. La portion de couvain délimitée a été congelée en versant deux doses successives de 30 ml d'azote liquide à une minute ou deux d'intervalles (photo 3). Après quelques minutes le tuyau était retiré. Le nombre de cellules vides à l'intérieur de la portion congelée était noté et le cadre était marqué pour être facilement retrouvé, puis replacé dans la ruche. 24 heures plus tard la ruche était réouverte et le cadre identifié était ressorti pour compter combien des cellules de couvain contenues dans la portion congelée avaient été désoperculées et vidées par les abeilles. Une cellule était considérée vidée si elle avait été désoperculée complètement et si la nymphe qu'elle contenait avait été au moins partiellement retirée. Un contrôle sur un groupe restreint de colonies testées effectués un autre 24 heures après la première lecture nous a montré que toutes les cellules partiellement vidées après 24 heures l'étaient complètement dans le cours de la journée qui suivait. Un indice de comportement hygiénique a été calculé en divisant le nombre de cellules vidées par le nombre de cellules contenant des nymphes au départ. Cet indice a été exprimé en pourcentage. Un score de 100% indique donc une colonie qui a nettoyé tout le couvain mort en 24 heures alors qu'à l'inverse un score de 0% indique une colonie qui n'a nettoyé aucune cellule.



photo 3

Résultats et discussion

Selon la méthode d'évaluation utilisée, le score moyen obtenu a été de 78.16% pour une amélioration de 8.1% par rapport à la moyenne de l'année précédente.

Variabilité génétique et héritabilité

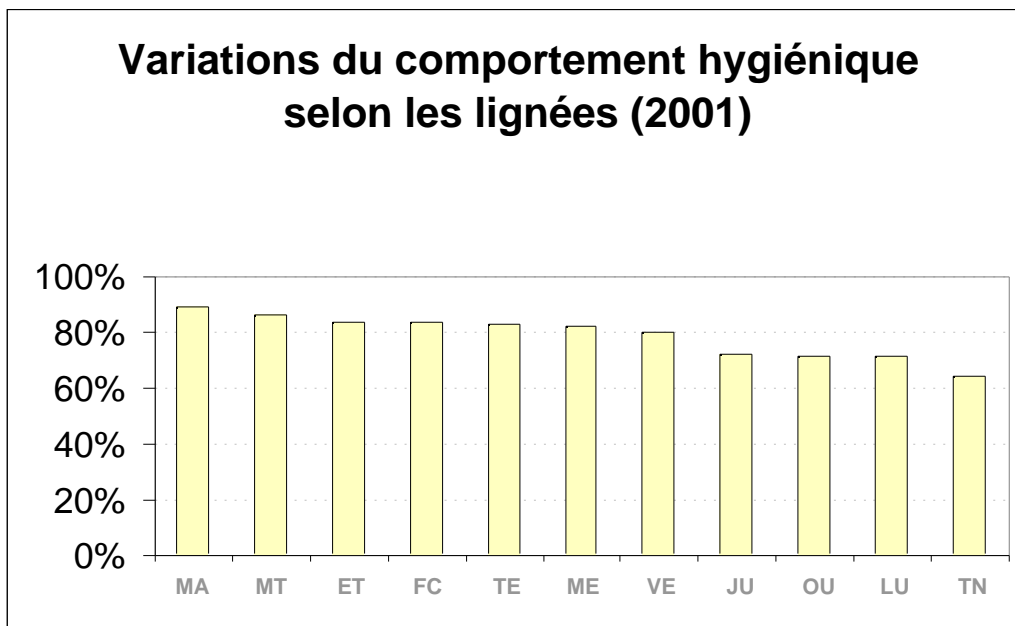
| LIGNÉE | indice HYG |
|--------|------------|
| MA | 89% |
| MT | 87% |
| ET | 84% |
| FC | 83% |
| TE | 83% |
| ME | 82% |
| VE | 80% |
| JU | 72% |
| OU | 72% |
| LU | 71% |
| TN | 64% |

Tableau 6

La performance des colonies individuelles a varié de 4% à 100% pour un écart type statistique de 26,3. La performance moyenne des lignées, pour les 11 lignées suffisamment représentées, a varié de 64% à 89% (tableaux 6, 7 et graphique 2). Un écart significatif de 25%, été trouvées entre les performances de la première et de la dernière lignée, ce qui confirme le caractère génétique de ce comportement.

| Écarts significatifs entre les lignées pour le comportement hygiénique (lignées de 2000 en 2001) | | |
|--|--------------------|---------------|
| lignées | écart significatif | p (student t) |
| ma et tn | 25% | 0.05 |

Tableau 7



graphique 3

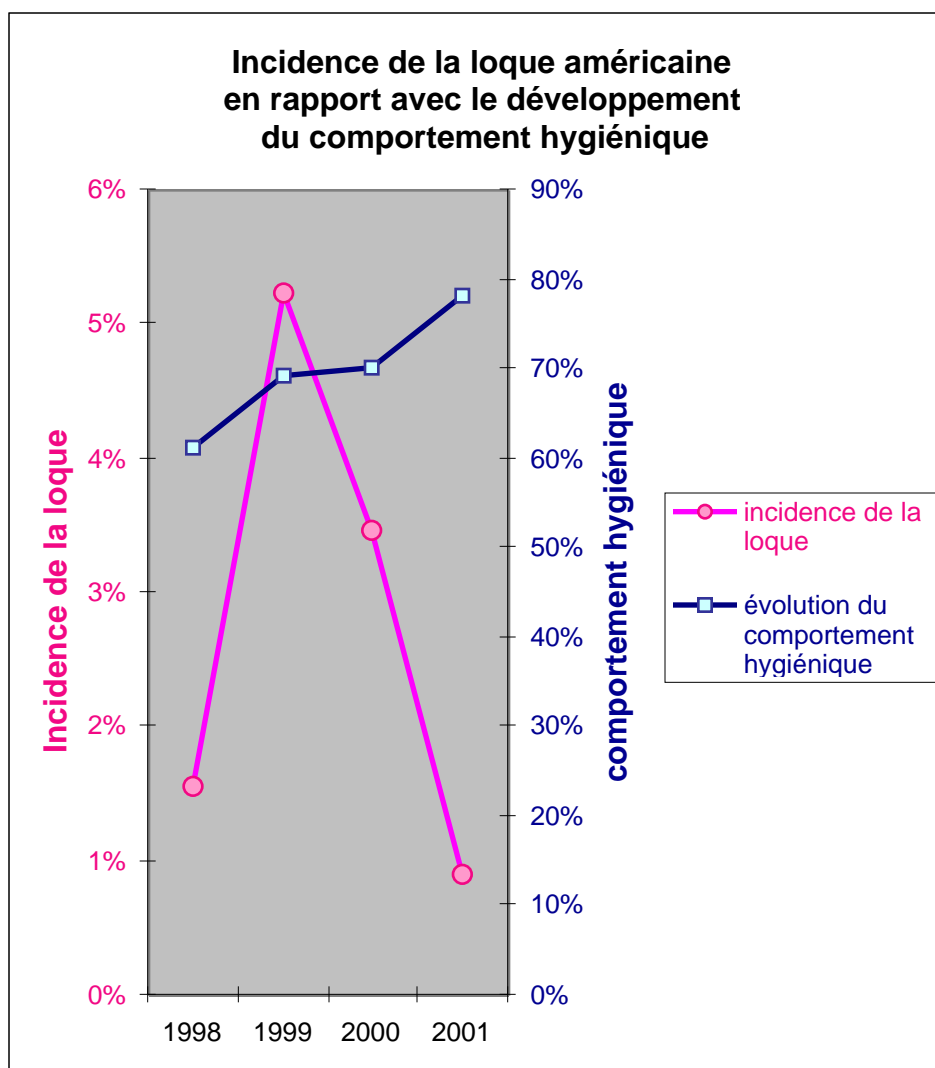
Le graphique 4 montre que depuis 1998 le comportement hygiénique moyen des colonies s'est amélioré à chaque génération de sélection. Toujours selon la même méthode d'évaluation, il a progressé de 61% en 1998 à 78.2% en 2001, soit une amélioration de 17% sur 4 années. Ceci indique que cette caractéristique semble relativement bien se transmettre d'une génération à l'autre.

Comparaison avec les stocks extérieurs

Pour rester constant et pour permettre la comparaison de nos résultats d'une année à l'autre, nous avons utilisé en 2001 la même méthode d'évaluation que nous avons utilisée les trois années précédentes. Toutefois au cours des dernières années ce test a été appliqué différemment par plusieurs chercheurs américains et canadiens. Ceux-ci laissent aux colonies une période de 48 heures pour le nettoyage au lieu de 24 (Spivak & Reuter¹⁹). Nous avons procédé à un deuxième compte des cellules vidées après 48 heures pour un petit groupe de dix colonies afin de vérifier l'écart qui en résultait. Le compte après la seconde période de 24 heures était alors 10% meilleur. Il faut toutefois préciser que dans leur cas 100 cellules sont congelées au lieu de 60. Nos résultats ne sont donc pas directement comparables mais on peut supposer que notre test représente un niveau de difficulté un plus grand pour les colonies. Marla Spivak considère une colonie réellement hygiénique quand elle obtient un score de 95% en 48 heures pour 100 cellules congelées. Elle affirme que seulement 10% des colonies aux États-Unis sont hygiéniques avant sélection. Chez nous 35,7% des reines ont obtenu un score de 95% et plus avec le test d'une durée de 24 heures. Ceci nous montre qu'un réel progrès a été parcouru après ces quelques années de sélection.

Évolution de l'incidence de la loque américaine

Parallèlement il est intéressant de regarder comment a évolué l'incidence de la loque américaine dans le rucher (graphique 4). Bien que l'on ne puisse tirer de conclusion ferme, le graphique suggère que le développement du comportement hygiénique semble favoriser une baisse de l'incidence de la loque. Fait important à noter, aucune médication préventive n'a été administrée aux colonies durant cette période. Les colonies ont été inspectées régulièrement et les ruches positives ont été éliminées ou transvasées dans du matériel sain et ensuite remérées. Cette situation démontre à tout le moins qu'il est possible de redresser l'état sanitaire d'un rucher où l'incidence de la loque frise le 5% simplement par la combinaison d'une génétique appropriée et de simples bonnes pratiques sanitaires.



graphique 4

Conclusion

La sélection pour développer le comportement hygiénique des abeilles est techniquement possible. Il existe au sein de notre stock une variabilité suffisante pour sélectionner sur la base de cette caractéristique. Nous avons pu procéder avec succès à l'évaluation des colonies sur ce point. Les résultats pratiques obtenus jusqu'à maintenant montrent que des gains intéressants peuvent être réalisés et que ces gains semblent avoir des répercussions positives sur la santé du rucher.

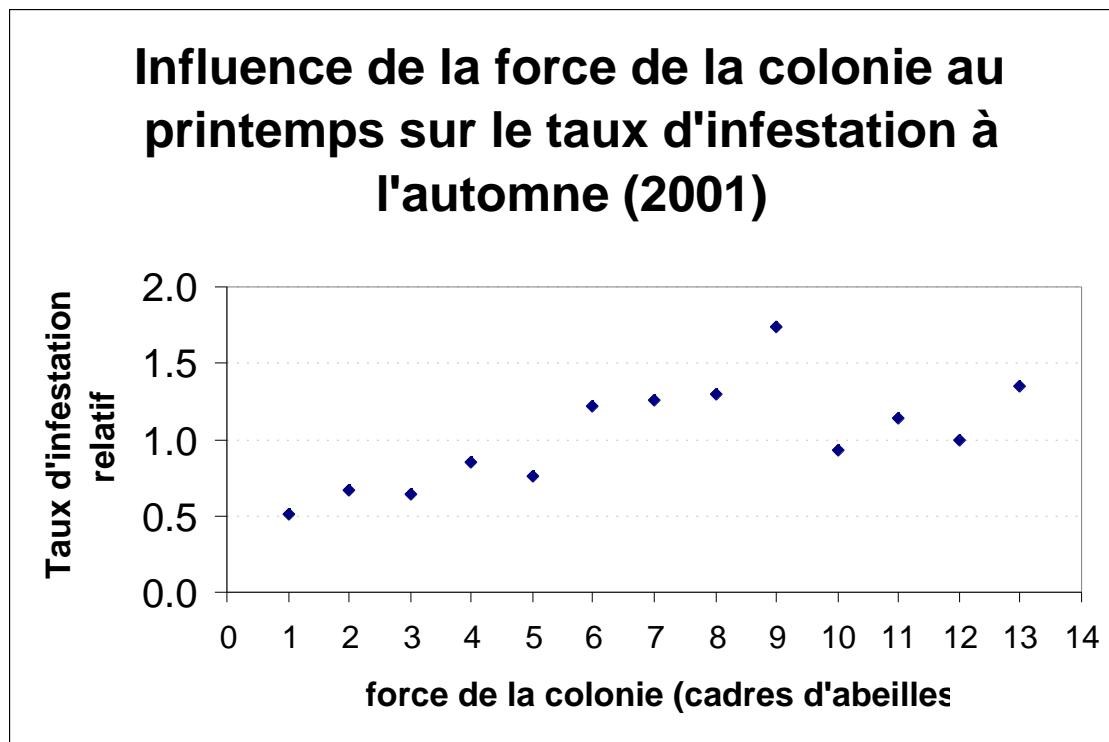
Conclusion générale

En conclusion ce projet a permis de développer l'expertise manquante pour mener à bien un programme de sélection visant à développer la résistance de l'abeille à la varroase et aux maladies du couvain. Il a aussi permis de vérifier concrètement la faisabilité d'une sélection sur cette base par la production d'une première génération d'abeilles à la fois potentiellement plus tolérantes à la varroase et plus hygiéniques, génération qui pourra être évaluée en 2002.

Annexes (tableaux et graphiques complémentaires)

ANNEXE 1

| Colonies reproductrices retenues pour initier un plan de sélection sur la base de la résistance (en jaune) | | | | | | | | | |
|--|--------|-------|--------|---|-------------------|-------------------|-------|---------------|---------|
| NO | RUCHER | NAISS | LIGNÉE | REM | indice_varr_09-01 | indice_varr_07-01 | FORCE | HYG (incl av) | RÉCOLTE |
| 288 | ATH | 00 | SO | t <>, tbn 26-6-01; ***** mère CISO 01 *****; ASS <> | 0.68 | 1.48 | 6 | 77 | 1.25 |
| 512 | MAI | 00 | MA | tbn t<> 27-6-01; ***** mère LBMA 01 *****; pas si bm aut 01 | 1.12 | 1.13 | 13 | 93 | 1.41 |
| 251 | MAI | 00 | TN | tbn 27-6-01;***** mère AUTN 01 *****; pas tbn autn 01 | 2.24 | 1.38 | 14 | 93 | 1.22 |
| 146 | GLE | 00 | TE | tbn 26-6-01; ***** mère ARTE 01 ***** | 1.33 | 0.05 | 6 | 100 | 1.27 |
| 617 | JOY | 00 | ET | ass <>; *****MÈRE DRET 01 ***** | 0.42 | 0.66 | 6 | 100 | 0.89 |
| 877 | MAI | 00 | OU | **** mère PHOU 01****; TBM AUT 01 | 1.31 | 0.88 | 12 | 100 | 1.23 |
| 412 | JLE | 00 | TE | <> 26-6-01; *****MÈRE APTE *****; exc m 11-9-01 | 3.56 | 0.66 | 6 | 93 | 1.12 |
| 751 | CRA | 00 | VE | ok 7-6-01; ***** mère GUVE 01 ***** | 1.34 | 0.00 | 4 | 96 | 1.19 |
| 648 | ATH | 00 | TE | ***** MÈRE FETE 01 *****; T<> | 0.62 | 0.20 | 5 | 98 | 1.36 |
| 673 | MAI | 00 | JU | JUJE (pas d'élevage en 2001) | 0.37 | 0.38 | 12 | 100 | 0.82 |
| 665 | GRE | 00 | AS | stbn 13-6-01; ***** MÈRE ABAS ***** sœurs excellentes (peu de ruches en comparaison résistance) | 1.01 | 0.38 | 7 | 95 | 1.25 |
| 106 | MAI | 00 | TE | exc m t <> 27-6-01; ***** MÈRE ALTE 01 ***** agr? juill 01; tbn aut 01 | 0.46 | 0.88 | 14 | 98 | 1.71 |
| 518 | THE | 00 | MA | ***** MÈRE GAMA 01 *****; SEMBLE UN PEU FAI OCT 01 | 0.45 | 0.44 | 9 | 90 | 1.08 |
| 994 | MAI | 00 | FC | bm 27-6-01; ***** MÈRE FRFC 01 *****; TBM AUT 01; t légère oct 01 | 0.69 | 0.25 | 12 | 97 | 0.91 |
| 999 | MAI | 00 | MT | tbn 27-6-01; ***** MÈRE MXMT 01 *****; TBM AUT 01 | 0.70 | 0.50 | 12 | 96 | 1.14 |



Références

1. Chapleau, Jean-Pierre, Projet d'expérimentation d'un plateau re ruche "antivarroas" dans la perspective du développement d'une stratégie de lutte intégrée contre la varroase de l'abeille au Québec. rapport final. site web: reineschapleau.wd1.net
2. Chapleau, Jean-Pierre, *La Sélection chez les abeilles*, CPVQ,, 1988
3. Chapleau, Jean-Pierre, *L'élevage commercial des reines abeilles*, CPVQ, 1987
4. Desjardins, France, Chapleau, Jean-Pierre et Marcotte Jean-Pierre, Maladies des abeilles. visite du rucher. diagnostic et traitement. CRAAQ, 2001
5. Calderone, N. W., Evaluating Subsampling Methods for Estimating Numbers of *Varroa jacobsoni* Mites Collected on Sticky Boards, *Journal of Economic Entomology*, vol 92, no 5, (1999), pp 1057-1061
6. Fries, Ingemar, *Varroa in Cold Climates: Population Dynamics, Biotechnical Control and Organic Acids*, in *Living with Varroa*, 1993, pp. 37-48
7. Ellis, J. D., The Future of Varroa Control: Integrating Current Treatments with the Latest Advancements, *American Bee Journal*, vol 141, no 2, (2001), pp 127-131
8. Szabo, T. I., Progress Report on Selective Breeding of Honey Bees for Resistance to Parasitic Mites, *American Bee Journal*, vol 138, 6, (1998), pp 464-466
9. Szabo, T. I., Selective Breeding of Colonies for Resistance to *Varroa jacobsoni* and the Effects of Management Techniques on Varroa Infestation Levels, *American Bee Journal*, vol 139, no 7, (1999), pp 537-540
10. Szabo, T. I. et Szabo, D.C., Attempts to Reduce *Varroa jacobsoni* Populations in Honey Bee Colonies: Research Report for 1999, *American Bee Journal*, vol 140, no 8, (2000), pp 652-658
11. Szabo, T. I. et Szabo, D.C., *Varroa jacobsoni* Infestation Levels of Honey Bee Colonies in the Fourth Year of a Breeding Program: Report for 2000, *American Bee Journal*, vol 141, no 6, (2001), pp 437-440
12. Sammataro, D. Mechanisms of Bee Resistance to Varroa Mites, *American Bee Journal*, vol 136, no 8, (1996), p. 567
13. Spivak, M. & Reuter, G. Honey Bee Hygienic Behavior, *American Bee Journal*, vol 138, no 4, (1998), p. 283
14. Harbo, J. R., Hopingartner, R. & Harris, J. W., Evaluating Honey Bees for Resistance to Varroa Mites: Procedures and Results, in Proceedings of the American Bee Research Conference, *American Bee Journal*, vol 137, no 3, (1997), p 223
15. Harbo, J. & Harris, J., Selecting Honey Bees for Suppression of the Reproduction of *Varroa Jacobsoni*, in Proceedings of the American Bee Research Conference, *American Bee Journal*, vol 138, no 4, (1998), p 295
16. Spivak, M. & Reuter, G., Hygienic Honey Bees and Resistance to Varroa and Brood Disease, in Proceedings of the American Bee Research Conference, *American Bee Journal*, vol 138, no 4, (1998), p 299
17. Szabo, T., Walker, T. & Mueller, A., Grooming Behavior as a *varroa* Resistance Characteristic in Honey Bees Colonies, *American Bee Journal*, vol 136, no 7, (1996), p. 515
18. Bell, D., Gloor, S. & Camazine, S., Biochemical Mechanisms of Fluvalinate Resistance in *Varroa Jacobsoni* Mites, in Proceedings of the American Bee Research Conference, *American Bee Journal*, vol 139, no 4, (1999), p 308
19. Spivak, Marla, & Reuter, Gary, Honey Bee Hygienic Behavior, *American Bee Journal*, vol 138, no 4, (1998), pp 283-286
20. Chapleau, Jean-Pierre, Projet d'expérimentation d'un plateau de ruche "antivarroas" dans la perspective du développement d'une stratégie de lutte intégrée contre la varroase de l'abeille au Québec. Rapport final, mars 2002, <http://reineschapleau.wd1.net>
21. Corrêa-Marquez, Maria, H., Cavicchio Issa, Marcia, R. & De Jong, David, Classification and Quantification of Damaged *Varroa jacobsoni* Found in the Debris of Honey Bee Colonies as Criteria for Selection?, *American Bee Journal*, vol 140, no 10 (2000), pp 820-824
22. Arachevalta-Velasco, Miguel, & Guzman, ernesto, Relative contribution of Rour Mechanisms to the Resistance of Honey Bee *Apis mellifera* against the Mite *Varroa jacobsoni*, in Abstract of the 2nd Internationals Conference on Africanized Honey Bees and Bee Mites, *American Bee Journal*, vol 140, no 10, (2000), p. 825