DÉVELOPPEMENT DE LA RÉSISTANCE NATURELLE DE L'ABEILLE À LA VARROASE DANS LE CONTEXTE DE L'ÉLABORATION D'UNE STRATÉGIE DE LUTTE INTÉGRÉE

projet # 2033

La Fédération des apiculteurs du Québec

RAPPORT FINAL

mai 2002 à mars 2004

par

Jean-Pierre Chapleau, chargé de projet
et
Pierre Giovenazzo, conseiller scientifique

Projet réalisé dans le cadre du programme
recherche appliquée, innovation et transfert du CDAQ

26 avril 2004
mise à jour le 18 novembre 2004

Table des matières

1 Résumé 4
2 Description du projet 5
2.1 Problématique 5
2.2 Objectif général 5
2.3 Objectifs spécifiques 6
2.3.1 Premier objectif spécifique 6
2.3.2 Deuxième objectif spécifique 6
2.3.3 Troisième objectif spécifique 6
2.4 Méthodologie 7
2.5 Étapes et échéances 9
2.6 Résultats 14
2.6.1 Progrès réalisés par la sélection et connaissances acquises en regard du développement de la résistance 14
2.6.1.1 Réduction du rythme de progression de l'infestation 15
2.6.1.2 Réduction des variations entre les niveaux de résistance des colonies 18
2.6.2 Comparaison des lignées 20
2.6.3 Transmissibilité des caractères sélectionnés 25
2.6.4 Étude des corrélations 25
2.6.4.1 Corrélation positive avec la force de la colonie au printemps 26
2.6.4.2 Corrélation positive avec la productivité en miel 26
2.6.4.3 Corrélation négative avec le comportement hygiénique 26
2.6.5 Choix des reproductrices sur la base d'un indicateur précoce 26
2.6.6 Développement de l'échantillonnage par la chute naturelle comme moyen de connaître les niveaux d'infestation et le potentiel de résistance des colonies 27
2.6.6.1 Précisions sur la manière de faire le comptage pour les échantillonnages en mortalité naturelle 28
2.6.6.2 Comparaison de l'échantillonnage en mortalité naturelle et du lavage à l'alcool 28
2.6.6.3 Comparaison du dépistage par la mortalité naturelle et du dépistage à l'aide d'un acaricide (Apistan®) 29
2.6.6.4 Durées d'échantillonnage 30
2.6.6.5 Recherche de varroas mutilés 30
2.6.6.6 Impact du prélèvement de couvain et d'abeilles sur la chute naturelle des varroas 31
2.6.6.7 Interprétation de la chute naturelle 32
Impact 34
2.6.7 Diffusion des résultats 34
3 Conclusions et recommandations 36
4 Annexe II 40
5 ANNEXE III 41
6 Annexe IV 42
7 Annexe V 43

Liste des Tableaux

I	Indicateurs du progrès global du programme de sélection	13
II	Comportement de l'indice JD selon le niveau d'infestation et la période	16
III	Corrélation entre le taux relatif de fin des reproductrices de 2001et la performance de leur filles	24
IV	Corrélations entre le taux d'infestation en fin de saison (TRF) et d'autres indicateurs	25
V	Taux de confirmation des reproductrices choisies sur la base de l'indicateur précoce	25
VI	Performance des lignées issues de reproductrices confirmées comparée à celle des lignées non confirmées	26
VII	Résultats du dépistage par lavage d'abeilles à l'alcool comparés à ceux obtenus par l'évaluation de la mortalité naturelle des varroas	27
VIII	Comparaison de l'échantillonnage par la mortalité naturelle et de l'échantillonnage à l'aide d'Apistan®	28
IX	Pourcentage de mutilations et niveau de résistance	30
X	Ratio chute naturelle sur population totale de varroas à la mi-septembre	32
XI	Tableau synthèse des ratios provisoires de mortalité naturelle sur population totale de varroas	32

1 RÉSUMÉ

L'abeille québécoise est présentement aux prises avec un nouveau parasite externe (varroa) qui fait beaucoup de ravages. Ce parasite a été transféré d'une autre espèce d'abeilles il y a quelques décennies. Pour le moment l'hôte et le nouveau parasite n'ont pas trouvé l'équilibre qui leur assurerait une prospérité mutuelle. La perte de 50% des ruches du Québec en 2003 témoigne de la gravité du problème. L'abeille dispose à des degrés divers de certains moyens de défense contre ce parasite. On peut l'aider à développer ces défenses par la sélection en imitant des processus qui se seraient déroulés naturellement au fil des décennies et des siècles. Le présent projet visait justement à développer ces mécanismes de défense en mettant en place un programme d'amélioration génétique.

Ce projet de sélection comportait plusieurs aspects originaux. D'abord il était un des rares programmes à adopter une approche globale. Plusieurs mécanismes de résistance à la varroase ont été identifiés chez l'abeille. Notre projet était basé sur l'évaluation globale de la capacité des colonies à ralentir le développement de leur population de parasites valorisant du coup tous les mécanismes de résistance présents au sein du stock, qu'ils soient connus ou inconnus. Notre projet s'inscrivait aussi dans la perspective du développement d'une stratégie de lutte intégrée où on recherche non seulement la participation de plusieurs mesures, mais aussi la synergie entre ces mesures. Ainsi, toutes les colonies en sélection étant logées dans des ruches sur plateaux à fond grillagé, les colonies caractérisées par un meilleur comportement d'épouillage pouvaient exprimer pleinement cette qualité et être plus facilement identifiées et valorisées à l'intérieur du programme de sélection.

Le projet prévoyait suivre l'évolution des populations de varroas de quelques centaines de colonies afin de déceler les colonies qui seraient plus capables que les autres de contenir la progression de leur population de parasites. Les colonies les plus « résistantes » seraient donc reproduites. Deux générations ont ainsi été élevées sur la durée du projet. La sélection des reproductrices a été faite sur la base d'un indicateur précoce, soit le taux de croissance de la population de varroas de la ruche mesuré à la mi-juillet. Cette façon de procéder a permis de sélectionner une génération par année au lieu d'une à tous les deux ans. Cependant plusieurs des reproductrices choisies n'ont pas vu leur performance confirmée en fin de saison. Il y a lieu de croire que l'efficacité de la sélection pourrait être accrue si le choix des reproductrices était fait seulement en septembre.

L'approche choisie s'est avérée être efficace. Le nombre de jours requis pour que la population de varroas double a été sensiblement allongé. Il est passé de 12,5 en 2002 à 21.5 en 2004 et même à 24,5 si on ne considère que les colonies issues de reproductrices dont le rendement a été confirmé en fin de saison. Ces données sont analysées exhaustivement dans le rapport. La sélection a aussi eu pour effet de réduire considérablement les écarts importants dans les niveaux de résistance des colonies. En conséquence les variations importantes dans les taux d'infestation que l'on constatait en fin de saison avant la sélection ont été réduites, facilitant ainsi la planification des interventions en lutte intégrée. On a aussi constaté des différences significatives entre les performances de nos lignées confirmées et non confirmées. Les colonies de la meilleure lignée ont affiché en moyenne une mortalité naturelle de varroas[1] de fin de saison 50% plus basse que celle des colonies de la pire lignée. Le niveau de résistance atteint par notre meilleure lignée serait suffisant pour concevoir une stratégie de lutte intégrée dans laquelle le traitement printanier ne serait plus nécessaire. Des corrélations positive ont été observées entre le taux de croissance des varroas et le comportement hygiénique de la colonie ainsi que le pourcentage de varroas morts ayant subi des mutilations par les abeilles. Une corrélation négative a été trouvée entre le taux de croissance des varroas et la productivité en miel ainsi que la force de la colonie. Ceci confirme qu'il faut sélectionner pour la résistance en même temps que pour la productivité comme nous l'avons fait.

Une expertise importante a pu être développée grâce à ce projet sur la manière d'utiliser la mortalité naturelle des varroas non seulement pour repérer les colonies les plus résistantes, mais aussi tout simplement pour évaluer, les niveaux d'infestation, puis comprendre et prédire leur évolution. Ces connaissances peuvent dès maintenant être mises à profit par les apiculteurs et contribuer à prévenir les pertes de colonies.

On trouvera en toute fin de rapport des recommandations importantes découlant des résultats de cette recherche. Certaines de ces recommandations concernent directement les producteurs dans la pratique de leur métier.

[1] La mortalité naturelle des varroas est utilisée pour connaître le niveau d'infestation des colonies.

NOTE : Les mises à jour apportées en octobre 2004 sont en police de caractère arial.

2 DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Problématique

Les apiculteurs québécois font face à la varroase, une parasitose qui infeste présentement la grande majorité des colonies d'abeilles du Québec. Il s'agit d'un petit acarien nouvellement arrivé qui parasite autant les abeilles adultes que les stades immatures du couvain. Les varroas se multiplient rapidement et peuvent tuer une colonie en l'espace d'une année. Pour ne pas perdre leurs colonies les apiculteurs doivent leur appliquer des traitements. Il existe au Canada deux produits acaricides homologués. Le premier est l'acide formique. Pour le moment les apiculteurs utilisent peu ce produit. Son efficacité est moindre que celle des acaricides de synthèse et l'expertise pour l'utiliser manque. L'option la plus courante est d'administrer une ou deux fois par saison du fluvalinate, homologué sous la marque de commerce "Apistan®". Ce produit a eu jusqu'à maintenant une très grande efficacité. Par contre il contamine la cire d'abeille. Le coût des traitements est important. Il se situe entre 3.50$ et 8$ la ruche pour les médicaments seulement. De plus comme l'expérience vécue dans les autres pays le démontre, la longévité du fluvalinate dépasse rarement dix années. Or les premières utilisations du fluvalinate au Québec remontent à il y a 11 ans. Le développement de la résistance des acariens à cette molécule a déjà été confirmé dans plusieurs provinces canadiennes (Nouveau Brunswick, Ontario, Colombie Britannique, Manitoba) à l'automne 2001. Au printemps 2002, plusieurs producteurs situés dans les zones où la varroase a d'abord fait son apparition il y a onze années ont essuyé des pertes hivernales majeures allant jusqu'à 100% de leurs colonies. On s'attendait en 2001 à ce que le phénomène gagne rapidement l'ensemble des ruchers québécois au cours des deux ou trois prochaines années. Les pertes majeures du printemps 2003 l'ont confirmé. Un nouveau pesticide, le Coumaphos®, un organophosphoré présentant des risques plus élevés de contamination du miel, a reçu une homologation d'urgence temporaire et son usage est maintenant très répandu au Canada. À peine trois ans après l'introduction du Coumaphos® des cas de résistance du varroa à ce pesticide sont déjà constatés aux États-Unis (Elzen & Westervelt). Cette résistance a aussi été constatée au Nouveau Brunswick après 2 années d'utilisation.

En apiculture comme dans plusieurs autres domaines de l'agriculture les stratégies chimiques pour le contrôle des maladies montrent de l'essoufflement. Ces stratégies comportent aussi plusieurs côtés négatifs tels des coûts élevés et des risques de contamination des denrées. Ils présentent aussi des risques pour la santé des producteurs. Ils ne rencontrent pas les objectifs d'une agriculture durable.

En ce qui concerne l'apiculture québécoise, il faut de toute urgence accélérer le développement d'une stratégie de lutte intégrée contre la varroase. Il faut donc rechercher des méthodes alternatives de contrôle qui pourraient éventuellement être combinées. La stratégie de lutte intégrée idéale serait la plus durable possible, la plus économique possible et demanderait un minimum d'interventions au producteur. Idéalement elle éliminerait aussi les risques de contamination des produits de la ruche.

La mise à l'essai d'un plateau de ruche antivarroas chez nous au cours des saisons 2000 et 2001, grâce à une assistance financière du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec a permis de constater que l'utilisation de ce type de plateau avait ralenti de 37% en moyenne la progression de l'infestation. Le plateau antivarroas à lui seul est insuffisant pour maintenir la varroase à des niveaux économiquement acceptables. Il est donc nécessaire de lui combiner d'autres moyens de lutte pour ralentir davantage et même éventuellement stabiliser le développement de la population de varroas des colonies. Le recours à des abeilles dotées d'une meilleure résistance naturelle à la varroase s'harmoniserait très bien avec l'utilisation du plateau antivarroas. Ce choix permettrait de rencontrer les objectifs d'économie, de simplicité, de durabilité et de sécurité. Idéalement cette stratégie de lutte donnerait un contrôle suffisant en elle-même. À défaut elle devrait permettre de recourir uniquement à des traitements doux (huiles essentielles, acide formique, etc.) et de réduire la fréquence des traitements.

2.2 Objectif général

Nous voulions, dans le cadre du développement d'une stratégie de lutte intégrée, améliorer génétiquement la résistance naturelle à la varroase de nos colonies d'abeilles.

2.3 Objectifs spécifiques

Nous rappelons et nous discutons les objectifs spécifiques fixés au départ.

2.3.1 Premier objectif spécifique

Développer la résistance naturelle de nos colonies d'abeilles de telle sorte que, lorsque exploitées dans des ruches équipées de plateaux antivarroas, leur taux d'infestation moyen se maintienne au cours d'une même saison sous le seuil jugé économiquement dommageable de 3000 varroas. En 2000 le niveau d'infestation moyen des colonies non sélectionnées exploitées sans plateau antivarroas a atteint 9366 varroas au cours d'une même saison.

Cet objectif s'est avéré réaliste. Il a été atteint dès la première année du projet. Nous avons néanmoins poursuivi l'effort de sélection au cours de la seconde année afin d'augmenter davantage le niveau de résistance. Ceci est d'autant nécessaire qu'il ne sera désormais plus possible de démarrer la saison avec des niveaux d'infestation près du zéro comme c'était le cas alors que les pesticides de synthèse pouvaient être utilisés avec une efficacité supérieure à 99%. Conformément à la philosophie de la lutte intégrée il n'est d'ailleurs pas souhaitable de traiter plus que ce n'est nécessaire. L'objectif est de contrôler l'infestation suffisamment pour empêcher les dommages économiques. Dorénavant les niveaux d'infestation de départ seront donc plus élevés et probablement variables. Les niveaux d'infestation plus élevés nous fournissent aussi l'opportunité de mieux identifier les colonies ayant une meilleure résistance. Au fur et à mesure que le niveau de résistance sera haussé, il faudra réduire les traitements pour maintenir un degré d'exposition au parasite suffisant pour pouvoir identifier les colonies possédant des caractéristiques de résistance encore meilleures. Même s'il reste souhaitable que les colonies ne dépassent pas le seuil de dommage en fin de saison, pour le futur les objectifs devront être reformulés de façon à tenir compte des niveaux de départ variables. L'expérience de ces deux années nous suggère qu'il vaudrait mieux évaluer nos performances futures par le biais d'un indice qui exprimerait la capacité de l'abeille à ralentir le rythme de progression de la population de varroas.

2.3.2 Deuxième objectif spécifique

Développer l'échantillonnage par la chute naturelle des varroas comme moyen fiable de connaître le niveau d'infestation des colonies et surtout comme moyen de repérer les colonies les plus résistantes à la varroase.

Il était pertinent de choisir de développer l'échantillonnage par mortalité naturelle des varroas . Tout au cours du projet ce fut notre moyen le plus fiable d'évaluer les niveaux d'infestation des colonies et le potentiel de résistance des reines. Nous avons pu raffiner et préciser l'utilisation de cet outil au cours du projet. L'ancienne façon d'utiliser des pesticides pour faire le dépistage ne pourra plus être utilisée à très court terme à cause du développement de la résistance chez les acariens. Faire le dépistage par la mortalité naturelle des varroas est particulièrement bien adapté au travail de sélection pour la résistance car il n'interfère pas avec l'évolution naturelle des populations de parasite contrairement aux méthodes qui provoquent la mortalité. Cet objectif était réaliste et a été atteint dans une forte proportion.

2.3.3 Troisième objectif spécifique

Évaluer le potentiel de l'abeille russe (souche Primorsky) particulièrement en ce qui regarde la résistance à la varroase.

Cet objectif était et reste réaliste en termes techniques. Cependant les reines de lignées Primorsky commandées de l'éleveur ontarien François Petit ont été reçues à une date tardive en 2003. Il n'était donc pas possible de compléter toutes les évaluations au cours de la saison 2003. Nous disposons néanmoins de résultats d'évaluation partiels. Les évaluations seront terminées à la fin de la saison 2004. Le résultat de l'hivernage de 2003 pourrait déjà nous donner des informations utiles sur le potentiel de ces reines.

2.4 Méthodologie

Nous rappelons la méthodologie prévue pour ce projet. *Vous trouverez en italique les ajustements ou modifications qui ont dû être apportées en cours de route.*

En gros l'approche que nous proposions consistait à réaliser le travail d'amélioration à partir d'un cheptel d'abeilles locales déjà sous sélection pour ses bonnes qualités de productivité, de rusticité, de faible tendance à l'essaimage et de bonne résistance aux maladies du couvain.

Plutôt que d'opérer une sélection uniquement sur la base des mécanismes ou comportements spécifiques réputés produire une meilleure résistance nous voulions rechercher tout simplement les colonies ayant de bas niveaux d'infestation en fin de saison. Plusieurs mécanismes connus et inconnus peuvent agir, seuls ou en conjonction. Une sélection basée sur les résultats valoriserait automatiquement tous ces mécanismes. *(Lors de la seconde année du projet nous avons précisé notre méthode en tenant compte non seulement du niveau d'infestation de fin de saison mais aussi du rythme de progression de l'infestation.)*

Néanmoins, il est reconnu que les abeilles qui ont un bon comportement hygiénique, c'est à dire qui évacuent rapidement les larves et nymphes mortes, non seulement résistent mieux aux maladies du couvain, mais aussi résistent un peu mieux à la varroase que les autres. Les abeilles hygiéniques ont en effet la capacité d'identifier une partie des nymphes parasitées, de les désoperculer et de les évacuer. En 2001 nous avons pu vérifier qu'il existait une légère corrélation (r = 0.13) entre l'indice de comportement hygiénique et l'indice de résistance à la varroase. À chaque année du projet nous avons donc évalué toutes les colonies pour cette caractéristique mettant ainsi le maximum de chances de notre côté.

Les colonies soumises à la sélection ont été logées dans des ruches équipées de plateaux à fond grillagé qui permettent d'éliminer tous les varroas qui tombent de la grappe. Avec un plateau ordinaire, ces varroas restent sur le plateau, en attente, et se raccrochent à des abeilles qui y circulent pour réintégrer la colonie et continuer de la parasiter. Nous prévoyions que cet équipement permettrait aux colonies d'exhiber et de valoriser davantage leur capacité d'épouillage ("grooming behavior") et augmenterait ainsi les chances de succès de la sélection.

Nous prévoyions utiliser l'échantillonnage par la chute naturelle des varroas comme moyen de connaître le niveau d'infestation des colonies et surtout comme moyen d'évaluer leur résistance. Par l'étude des courbes de mortalité naturelle des colonies en sélection et aussi d'un groupe restreint de 30 colonies (suivies en continu par des échantillonnages hebdomadaires), nous voulions étudier ce que peut nous apprendre la chute naturelle des varroas. Nous voulions également chercher et quantifier la présence de varroas mutilés sur les cartons d'échantillonnages dans l'espoir d'identifier un indicateur intéressant à utiliser dans le futur. De plus, dans l'éventualité où les varroas de notre rucher deviendraient résistants au fluvalinate, les évaluations pourraient continuer à être faites à partir de la chute naturelle. *(Cette mesure s'est avérée pertinente car la résistance du varroa à l'Apistan® est maintenant reconnue au Québec.)*

Nous prévoyions utiliser un échantillonnage par chute naturelle des varroas à la mi-juillet comme indicateur précoce afin de choisir dès la mi-saison, c'est-à-dire avant la fin de la saison d'élevage, les colonies reproductrices potentielles. Ceci devait nous permettre de sélectionner une génération par année. Pour garantir une meilleure précision dans le choix précoce des reproductrices, nous voulions utiliser une information additionnelle au début de juillet: le taux d'abeilles adultes parasitées dans la colonie. Nous voulions obtenir cette information par le "lavage à l'alcool" d'un échantillon de 200 abeilles prélevé dans la chambre à couvain de chaque colonies. *(Cette méthode manque de sensibilité et n'a pas pu donner les confirmations dont nous avions besoin. Nous avons donc à la place augmenté la fréquence des échantillonnages en mortalité naturelle.)*

Finalement nous voulions aussi introduire dans nos colonies des reines russes de souche Primorsky pour les comparer à nos abeilles. *(Pierre Giovenazzo, chercheur et conseiller scientifique associé à ce projet, s'est chargé de faire ces évaluations à la station de recherche apicoles du CRSAD. Les lignées russes sont comparées à trois nos propres lignées (lignées de 2002) ainsi qu'a des lignées provenant des autres éleveurs québécois. Le rapport de la première année d'évaluation [Pierre Giovenazzo2003] est annexé au présent document.)*

Concrètement de 250 à 300 colonies devaient être en sélection à chaque année. Elles devaient être évaluées d'abord pour leur force et leur niveau d'infestation en début de saison. Elles devaient être évaluées ensuite pour leur comportement hygiénique, puis pour leur productivité. *(275 colonies ont été suivies en 2002. En 2003, 275 colonies ont été évaluées pour la force et le taux de départ. 198 colonies ont pu être évaluées pour l'hygiène et pour la productivité. Toutes les colonies retirées des évaluations ont néanmoins dû être maintenues et gérées et de façon à pouvoir recevoir les reines de la nouvelle génération en août).* Notre protocole prévoyait de ne pas traiter ces colonies en cours de saison afin de les exposer à un niveau parasitaire qui permettrait de bien identifier les plus résistantes. (*Au printemps 2002 les niveaux d'infestation étaient très bas, même indétectables par la mortalité naturelle. Au printemps 2003 ils étaient beaucoup plus élevés au point que 77 colonies ont dû être retirées de la sélection pour recevoir un traitement printanier à cause d'un taux de départ considéré trop élevé, soit supérieur à 5 varroas par jour. Notons que la recommandation provisoire du MAPAQ en 2003 était de traiter les colonies au printemps si leur mortalité naturelle excédait 0,5 varroas par jour.)* Tel que prévu, les populations de varroas de ces colonies ont été mesurées par des échantillonnages répétés en mortalité naturelle. La dimension des cartons d'échantillonnage utilisé correspondait à la pleine surface du plateau de la ruche. Les cartons étaient enduits préalablement d'une mince couche de gras végétal afin de mieux fixer les varroas qui y tombaient. Ces cartons étaient aussi lignés pour faciliter les comptages. Suite à un dépistage réalisé à la mi-juillet (indicateur précoce) les meilleures colonies ont été choisies comme reproductrices *(15 ont été choisies en 2002 et 10 en 2003. En 2002 les choix ont été basés sur le taux relatif d'infestation de la colonie, c'est-à-dire le taux de la colonie divisé par le taux moyen de son rucher. En 2003, pour tenir compte des taux de départ légèrement variables, les choix ont été faits en considérant en plus l'indice de résistance, soit le taux relatif de fin divisé par le taux relatif de début.* À chaque saison une nouvelle génération a été élevée à partir de ces reproductrices. Afin d'obtenir un contrôle sur les faux-bourdons participant à la fécondation des jeunes reines du nouvel élevage, les zones où se trouvent les ruchers de fécondation ont été saturées de colonies de lignées démontrant une meilleure résistantes. Les reines ainsi élevées et fécondées ont été implantées dans des colonies après une première confirmation de la bonne performance des reproductrices grâce à un second indicateur précoce (chute naturelle des varroas en août). Un double échantillonnage de fin de saison devait être réalisé au début de septembre (un par la chute naturelle des varroas, un avec l'utilisation de fluvalinate pendant 24 h) afin d'apporter les confirmations définitives pour le choix des reproductrices. Il devait aussi permettre d'établir la performance moyenne des différentes lignées et de mesurer globalement les progrès de la sélection. Les reproductrices intéressantes qui auraient pu être "échappées" selon les indicateurs précoces pourraient alors toujours être utilisées tôt au début de la saison suivante. *(Cette méthodologie a été suivie rigoureusement en 2002. En 2003 trois échantillonnages en mortalité naturelle ont été ajoutés en mai et juin afin de suivre les niveaux d'infestation de début de saison qui s'avérèrent plus élevés qu'en 2002. Par contre, l'échantillonnage de fin de saison a été fait pour une durée d' une semaine. L'échantillonnage de fin de saison avec Apîstan® a été abandonné car il donnait des résultats moins précis que l'échantillonnage en mortalité naturelle sur une semaine. C'est l'échantillonnage en mortalité naturelle qui a servi à faire les évaluations finales. Parce que nous avons toléré des taux d'infestation élevés, la sélection de 2003 a pu être faite dans un contexte de très forte infestation. À cause des hauts niveaux tolérés en début de saison, les mortalités naturelles à la mi-septembre ont été aussi très élevées. Elles ont varié de 33 varroas par jour à 124 varroas par jour , selon les lignées, pour une moyenne de 64. Ceci implique que plusieurs colonies ont eu des taux individuels de fin excédant 100 varroas par jour ! Nous estimons que cette façon de procéder comporte des risques importants. À ces niveaux, il est possible que plusieurs colonies voient leur hivernage affecté. (Les observations du printemps 2004 ont confirmé ces craintes : le pourcentage de pertes a été de 14% et la force moyenne des colonies survivantes a été de 4 cadres d'abeilles[2]).* Cependant cette situation nous a permis de faire des observations très utiles concernant l'impact des différents niveaux d'infestation de fin de saison sur le succès de l'hivernage. Ces observations ont fait l'objet d'un article dans la revue l'Abeille portant le titre : Varroase : pertes hivernales et taux d'infestation avant traitement automnal. Cet article est aussi disponible sur Internet (reineschapleau.wd1.net)

[2] nos pertes normales se situent plutôt entre 5 et 8 % et la force moyenne de ce type de colonie à la fin d'avril varie de 7 cadres d'abeilles à 10 cadres d'abeilles selon les années.

2.5 Étapes et échéances

2002

Activité	selon l'échéancier prévu	réalisation	notes
Délimitation de l'échantillon en sélection	mai 2002	début mai 2002	
Évaluation de la force des colonies	mai 2002	7-11 mai 2002	
Test de résistance du varroa au fluvalinate	mai 2002	7 mai 2002	
Vérification du taux d'infestation au départ	mai 2002	8 mai 2002	
Stockage des aires de fécondation	mai 2002	10 et 14 mai 2002	
Évaluation du comportement hygiénique	fin juin - début juillet 2002	17 au 19 juin et 25-27 juin 2002	
Évaluation de la productivité	fin juin - début juillet 2002	3 et 6 juillet 2002	
Première évaluation de l'état des populations de varroas par la mortalité naturelle	fin juin - début juillet 2002	2-18 juillet 2002	
Évaluation de l'état des populations de varroas par lavage à l'alcool	fin juin - début juillet 2002	25 juillet 2002	Un test de lavage à l'alcool a été réalisé sur un nombre restreint de colonies (26) avant de l'appliquer à l'ensemble de l'échantillon. Contrairement à l'échantillonnage en mortalité naturelle, ce test s'est avéré manquer de précision et être incapable de donner des informations sur les faibles niveaux des populations de varroa qui prévalaient. Il était donc inutile de l'appliquer à la totalité de l'échantillon.
Analyse statistique des résultats des évaluations	début juillet 2002	19 juillet 2002	
Sélection des reproductrices		19 juillet 2002	15 reproductrices choisies
Élevage (greffe, production et introduction des cellules royales, encageage des reines et soin des ruchettes de fécondation)	mi-juillet 2002	19 juillet- 14 août 2002	

Rapport d'étape	fin juillet 2002		La production du rapport d'étape a été reportée après la fin de la saison d'essais 2002 conformément au plan de déboursement annexé à la convention.
Seconde évaluation de la progression des populations de varroas et analyse des résultats	fin juillet 2002	24 juillet au 7 août 2002	Cet échantillonnage a été réalisé en double (deux échantillonnages consécutifs de 7 jours)
Introduction des reines de la nouvelle génération dans des colonies	début août 2002	12 au 20 août 2002	
Visite de l'éleveur des lignées russes (Casselman, ON)	août 2002	21 août 2002	Visite faite en compagnie du chercheur Pierre Giovenazzo, de Émile Houle, technicien du CRSAD et de Luc Moreau, éleveur de reines
Test de résistance du varroa au fluvalinate	fin août - début septembre 2002	2 septembre 2002	
Évaluation des populations de varroa de fin de saison par la mortalité naturelle		3 au 17 septembre 2002	Cet échantillonnage n'avait pas été prévu. Il a été réalisé en double de l'échantillonnage à l'Apistan® et en remplacement d'un second lavage à l'alcool. Ce choix a été motivé par le fait que plusieurs cas de résistance à l'Apistan® avaient été rapportés en cours de saison et que nous craignions ne plus pouvoir utiliser l'Apistan® comme moyen de dépistage en 2003. Il aurait alors été difficile de comparer les résultats de 2002 et de 2003. Ce choix s'est avéré pertinent car il a été trouvé que l'échantillonnage en mortalité naturelle fournissait une évaluation plus précise que celle obtenue avec l'Apistan®.
Évaluation de fin de saison des populations de varroas par un échantillonnage de 48 heures à l'Apistan®	fin août - début septembre 2002	17 septembre au 23 septembre	
Traitement complet des colonies	septembre 2002	sept-oct 2002	

Évaluation en continu de l'évolution de la population de varroas d'un groupe restreint de colonies (rucher MAI).	juin-oct 2002	18 juin - 22 oct 2002	
Vérification du ratio chute naturelle vs pop totale		mi-septembre 2002	Cette activité n'avait pas été prévue au départ mais a été jugée nécessaire en cours de réalisation du projet
Vérification des varroas mutilés		nov 2002	Cette activité n'avait pas été inscrite au calendrier par omission
Analyse des résultats	automne 2002	automne-hiver 2002-03	
Rédaction du rapport annuel	hiver 2002-2003	mars 2003	

2003

Activité	selon l'échéancier prévu	réalisation	notes
Évaluation de la force des colonies Test de résistance du varroa au fluvalinate Vérification du taux d'infestation au départ Stockage des aires de fécondation	mai 2003	mi-avril à fin mai 2003	Le test de résistance à l'Apistan® n'a pas été réalisé car la tournée d'échantillonnage à l'Apistan® a été remplacée par deux tournées successives d'échantillonnage en mortalité naturelle de 7 jours.
regroupement dans trois ruchers et traitement des colonies dont le taux d'infestation est trop élevé		mi-mai 2003	Cette activité n'avait pas été prévue au projet. La situation exceptionnelle de l'épidémie au printemps 2003 a rendu cette intervention nécessaire.
Élevage complémentaire suite aux évaluations finales de 2002 (au besoin)	mai 2003		non requis
Introduction des reines de lignées russes	date indéterminée	juillet 2003	introduction faite dans les colonies du CRSAD (volet géré par Pierre Giovenazzo : voir rapport annexé)
Échantillonnage en mortalité naturelle		12-19 juin 2003	Cet échantillonnage n'avait pas été prévu au départ. Les taux d'infestation plus élevés qu'en 2002 l'ont justifié.
Évaluation du comportement hygiénique Évaluation de la productivité Première évaluation de la progression des populations de varroas	fin juin début juillet 2003	fin juin à mi-juillet 2003	
Analyse statistique des résultats des évaluations	début juillet 2003	3e semaine de juillet 2003	
Sélection des reproductrices Élevage	mi-juillet 2003	15 juillet au 5 août 2003	10 reproductrices sélectionnées
Rapport d'étape	fin juillet 2003		non réalisé conformément au plan de déboursement annexé à la convention.

Seconde évaluation de la progression des populations de varroas Analyse statistique	fin juillet 2003	1-15 juillet 2003	Cette évaluation a en fait été la 4ème. Pour plus d'assurance elle a consisté en 2 échantillonnages successifs de 7 jours en mortalité naturelle
Introduction des reines de la nouvelle génération dans des colonies	début août 2003	du 10 août à la fin du mois	
Test de résistance du varroa au fluvalinate Évaluation de fin de saison des populations de varroas	fin août début septembre 2003	1-9 septembre 2003	test de résistance à l'Apistan® non requis. Évaluations de fin de saison faites grâce à un échantillonnage d'une semaine en mortalité naturelle
Évaluation en continu de l'évolution de la population de varroas d'un groupe restreint de colonies (rucher MAI).		mai à fin oct 2003	Activité non inscrite au calendrier. Cette activité a permis de de présiser l'impact du prélèvement de couvain de même que les rations MN/pop totale de varroas
Vérification du ratio chute naturelle vs pop totale		début octobre 2003	Cette activité n'avait pas été prévue au départ mais a été jugée nécessaire en cours de réalisation du projet
Analyse des résultats	automne 2003	automne 2003 et jan à mars 2003	
Communications des résultats		8 novembre 2003 22 novembre 2003 janvier 2004 février-mars 2004	présentation congrès FAQ (Drummondville) présentation Ontario Beekeeper's Association (London) présentation Conseil Canadien du Miel (Winnipeg) version Web des conférences
Rédaction du rapport final	hiver 2003-2004	mars et avril 2004	

2.6 Résultats

2.6.1 Progrès réalisés par la sélection et connaissances acquises en regard du développement de la résistance

Si on compare l'évolution des taux d'infestation au cours des années 2000, 2002 et 2003, on constate que l'impact de la sélection s'est manifesté principalement de deux façons. D'une part le rythme de progression de la varroase a été ralenti; d'autre part les variations entre les niveaux d'infestation de fin de saison des colonies ont été réduites. La comparaison des lignées ainsi que l'évaluation de la transmissibilité des caractères sélectionnées nous apportent également des éclairages additionnels sur les résultats de la sélection pour la résistance. Examinons chacun de ses aspects.

2.6.1.1 Réduction du rythme de progression de l'infestation

Le tableau suivant résume nos résultats selon les différents indicateurs utilisés pour mesurer le progrès global réalisé suite à la sélection.

Tableau I. indicateurs du progrès global du programme de sélection

	2000	2002	2003[3] toutes lignées	2003 reproductrices confirmées (1)
nombre de colonies	131	202	124	70
mortalité naturelle moyenne au départ (début mai)	indétectable	indétectable	0.89 écart-type : 0.93	0.93 écart type : 1.01
mortalité naturelle moyenne au début juillet	n. d.	0.54 écart-type : 0.82	11.02 écart-type : 12.13	11.45 écart type : 14.4
mortalité naturelle moyenne à la mi-sept (données brutes)	n. d.	24.28 écart-type : 36.3	65.4 écart type : 50.1	50.6 écart type : 32.1
mortalité naturelle moyenne à la mi-sept. (données normalisées[4])	n. d.		*97.14*	*81.87*
population totale moyenne de varroas estimée au 13 sept[5]	9366	1700	6800	5730
taux de multiplication moyen (TM) (début juillet au 13 sept)	n. d.	44.9	8.6	7
nombre de fois que la chute naturelle a doublé (début juillet à mi-sept.) (FD)	n. d.	**5.4**	**3.1**	**2.7**
nombre de jours pour doubler (JD) d'après début juill. à sept. (nombre de jours période / FD)	n. d.	**12.5**	**21.5**	**24.2**

Les données contenues dans ce tableau demandent à être analysées avec prudence. Prenons le temps de les discuter.

Rappelons qu'une étude de faisabilité avait été réalisée en 2001 avec l'assistance financière du fonds végétal du CRAAQ. Cette étude avait permis de constater l'existence d'une importante variabilité au sein du stock sous étude sous le rapport de la résistance à la varroase. Elle avait aussi permis de tester un protocole de sélection et de le mettre à l'épreuve par l'élevage d'une première génération sélectionnée sur la base du critère de la résistance.

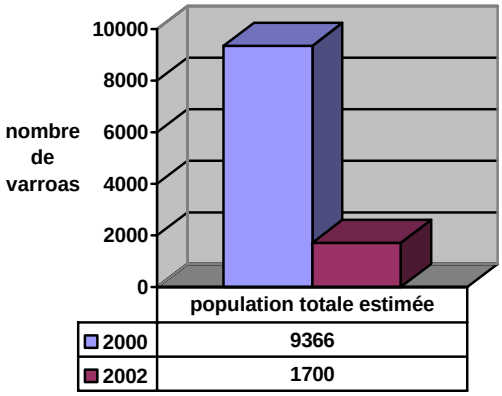
[3] Il est à noter que pour les fins de nos analyses statistiques seules les colonies dont la situation a été parfaitement « standard » tout au long de la saison par rapport au reste du groupe ont été retenues. Ainsi toutes les colonies ayant eu des problèmes de reines, ayant essaimé ou ayant été affectées par des causes extérieurs (ours) ont été écartées.

[4] Les données ont été ajustées à la hausse pour tenir compte de l'impact du prélèvement de deux cadres de couvain dans les ruches sous sélection à la fin de juillet 2003 (voir section 2.6.6 « développement de la mortalité naturelle… »). Elles ont aussi été ajustées à partir des données de chute journalière pour tenir compte des dates d'échantillonnage légèrement différentes. Ces ajustements ont été faits dans le but de tenter une comparaison des progrès d'une saison à l'autre. Ne pas normaliser les données aurait conduit à une surestimation des progrès réalisés.

[5] En 2000 la population totale de fin a été estimée à partir du résultat d'un échantillonnage de 24 h à l'Apistan® (chute premier 24 heures / 0.18). En 2002 elle a été estimée à partir d'un échantillonnage en mortalité naturelle de 7 jours (chute journalière x 70). Voir annexe I et section 2.6.6.7.

Spécifiquement, l'objectif formulé dans le projet était que le niveau d'infestation des colonies n'excède pas le seuil où les dommages économiques apparaissent pour des colonies logées dans des ruches équipées de plateaux grillagés. Ceci était dans le contexte où les colonies avaient été bien épouillées l'automne précédent par un traitement à l'Apistan®. Au printemps 2002 les niveaux d'infestation des colonies étaient extrêmement bas comme il est normal suite à un traitement avec ce pesticide. La mortalité naturelle donnait des lectures nulles. Un dépistage printanier à l'Apistan® sur quelques dizaines de colonies donnait des tombées de varroas variant de 0 à 3 par jour. L'objectif défini initialement de rabaisser les populations de varroas de fin de saison sous le seuil de 3000 varroas aurait donc été atteint dès la première génération sélectionnée, à savoir celle sélectionnée en 2001 lors de l'étude de faisabilité et testée en 2002 lors de la première saison du projet. Une précaution s'impose toutefois dans l'interprétation de cette comparaison car nous ne disposons pas de résultats d'échantillonnage pour le début de la saison 2000. Toutefois, toutes les colonies avaient été traitées à l'Apistan® à l'automne 1999, rigoureusement de la même façon qu'à l'automne 2001 et à date identique. Nous n'avons pas de raisons de croire que les niveaux d'infestation de départ aient été significativement différents entre les deux années.

Population moyenne de varroas dans l'ensemble des ruches sous évaluation en 2000 et 2002 (le nombre de varroas a été extrapolé à partir de la chute naturelle. La comparaison n'est pas faite avec 2003 car les taux d'infestation de départ différents ne le permettaient pas.

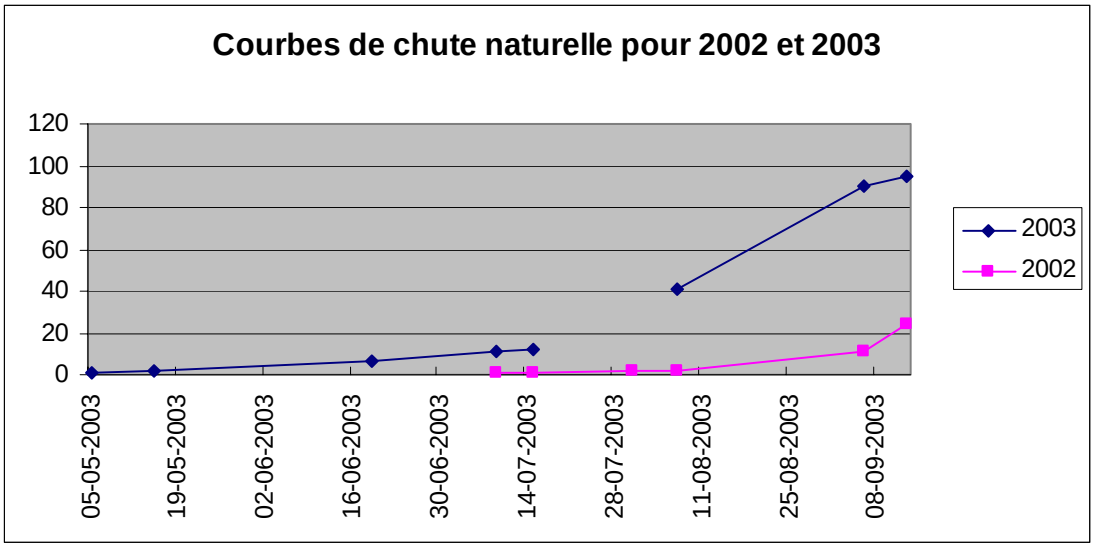


L'évaluation du progrès par la comparaison des populations totales de varroas de fin de saison ne peut être faite que si les niveaux de départ sont les mêmes. La chose se complique si les échantillonnages ne sont pas faits aux mêmes dates. Or, en 2003 les niveaux de départ ont été plus élevés malgré que les colonies avaient été traitées à l'Apistan® l'automne précédent. Deux phénomènes peuvent expliquer le niveau de départ plus élevé. D'une part, un nombre élevé de colonies appartenant à des apiculteurs voisins ont succombé à l'infestation au cours de l'automne 2002 et du printemps 2003. Ceci a certainement créé une situation de ré infestation par des parasites provenant de l'extérieur après le traitement d'automne. D'autre part, il n'est pas impossible qu'un début de résistance non détecté des varroas à l'Apistan® ait résulté en une efficacité légèrement moindre du pesticide. Un test de résistance avait été réalisé à l'automne 2002 à partir d'abeilles de 19 colonies, dont les colonies les plus infestées de tout le rucher. Ce test n'avait pourtant pas permis de conclure à la présence de résistance (voir annexe III). Il est tout à fait normal, en lutte intégrée, d'avoir des niveaux d'infestation de départ qui diffèrent d'une année à l'autre. C'est d'ailleurs cette situation qui prévaudra dans le futur. La question se pose alors : comment comparer objectivement les progrès réalisés d'une année à l'autre? Il faut alors évaluer la performance par la mesure de la vitesse de croissance des populations de varroas. Il est donc nécessaire de chiffrer cette vitesse de croissance. Utiliser un simple facteur de multiplication (MNF/MND) de la population de varroa au cours de la saison ne convient pas, car, à cause du caractère logistique de la multiplication des varroas, des durées d'évaluations différentes rendraient la comparaison impossible. En effet plutôt que de croître de façon linéaire, les populations de varroas doublent à intervalles plus ou moins réguliers. À titre indicatif nous avons néanmoins inclus un tel facteur (TM) dans notre tableau récapitulatif (tableau I). Il fait bien comprendre comment un gain de résistance même modeste a un impact important sur le niveau des populations de fin de saison.

Le graphique[6] ci-dessous montre l'évolution des courbes de mortalité naturelle au cours de 2002 et de 2003. La comparaison est difficile par ce seul graphique à cause des niveaux de départ différents. Attirons toutefois l'attention sur le fléchissement

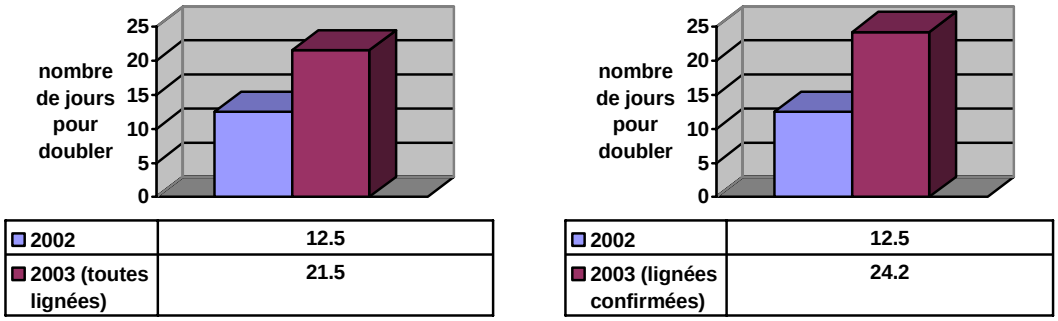
[6] Ce graphique a été tracé à partir de moyennes normalisées pour 2003. Les écarts-types ne sont donc pas disponibles. On trouvera au tableau I les écarts-types pour les données brutes.

de la courbe au début de septembre en 2003 par opposition à une remontée marquée en 2002. L'axe Y représente le nombre moyen de varroas qui chutent chaque jour sur le carton d'échantillonnage.



Le nombre de jours requis pour que la population de varroas double (JD) est probablement un meilleur indicateur du niveau de résistance des colonies. En 2003 les populations de varroas ont mis presque deux fois plus de temps à doubler qu'en 2002, soit 21.5 jours au lieu de 12.5. L'amélioration est encore supérieure (24.2 jours) si on exclut de la comparaison les lignées issues de reproductrices dont la performance de fin de saison ne correspondait pas à nos critères de sélection[7].

Les deux graphiques suivants illustrent l'allongement de la période requise pour que les populations de varroas doublent entre 2002 et 2003. La comparaison est faite pour toutes les colonies (graphique de gauche) et aussi pour les colonies appartenant à des lignées dont les reines fondatrices ont vu leur niveau de résistance confirmé par l'échantillonnage de fin de saison (graphique de droite).



Toutefois ici encore il faut faire preuve de prudence car le rythme d'accroissement de la chute naturelle semble être un peu plus rapide lorsque les niveaux d'infestation sont plus bas. Il est possible que la ré infestation provenant de colonies extérieures ait une influence relative plus importante sur le taux de croissance des populations de varroas quand les niveaux d'infestation sont plus bas comme ce fut le cas en 2002. Toutefois, afin de minimiser ce biais éventuel, nous avons calculé l'indice JD pour la période commençant seulement au début de juillet et se terminant au début de septembre. On doit néanmoins garder en tête que les niveaux de départ différents ont pu influencer le comportement de l'indice JD. Le tableau suivant permet d'analyser le comportement de l'indice JD selon les temps de l'année et les niveau de la mortalité naturelle. Cette analyse semble confirmer que la progression de la mortalité naturelle puisse être influencée jusqu'à un certain point par le niveau de l'infestation. Cependant lorsqu'on compare d'une année à l'autre des périodes avec des niveaux de mortalité naturelle similaires, on constate que l'indice JD indique toujours une performance supérieure pour l'année 2003. La différence la plus marquante est pour la période du début de septembre.

[7] Nos reproductrices étaient choisies sur la base de leur performance à la mi-juillet (indicateur précoce). La performance établie par l'échantillonnage de fin de saison confirmait ou infirmait ce choix (voir annexe II)

Tableau II : comportement de l'indice JD selon le niveau d'infestation et la période

2003	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin
date	15 mai	19 juin	19 juin	15 juill.	15 juill.	12 août	12 août	9 sept
MN	1.71	6.17	6.17	11.73	11.73	35.90[8]	35.90[5]	81.49[5]
nombre de jours période	35		26		28		28	
indice JD	**15.9**		**28.9**		**18.3**		**24.7**	

2002	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin
date	16 juill.	31 juill.	31 juill.	7 août	7 août	6 sept	6 sept	13 sept
MN	0.72	1.8	1.8	2.3	2.3	11.29	11.29	24.3
nombre de jours période	15		7		30		7	
indice JD	**12**		**14**		**13.5**		**6.5**	

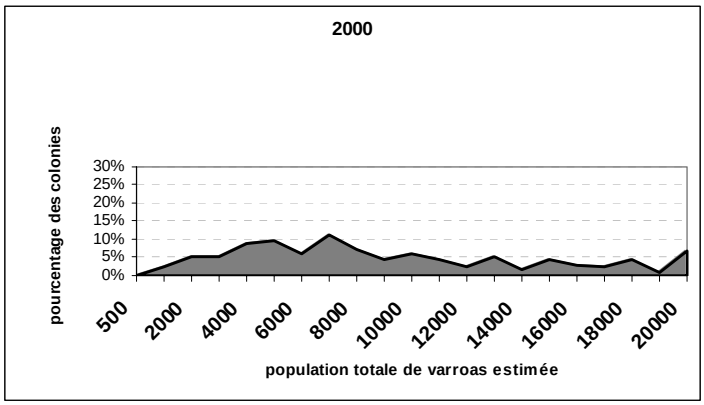
Il n'est pas impossible non plus que des facteurs saisonniers aient eu une certaine influence sur nos résultats. Toutefois, le varroa vit et se multiplie dans un environnement protégé et maintenu à température constante par l'activité de thermorégulation des colonies. Il serait donc surprenant que dans un même lieu géographique les facteurs saisonniers puissent faire fluctuer de façon importante les taux de multiplication.

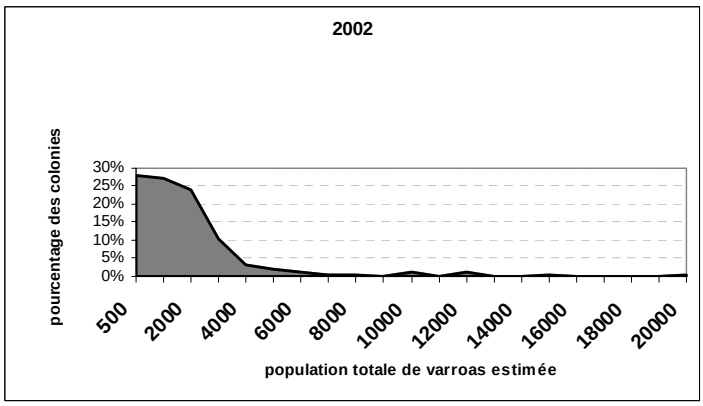
Il en ressort que comparer objectivement les progrès réalisés d'une année à l'autre n'est pas chose facile. Nos analyses ne peuvent constituer une mesure scientifique et incontestable du progrès réalisé. Cependant d'autres facteurs que nous discuterons plus loin (réduction des écarts types, corrélations, etc.) ajoutent à l'évidence qu'un progrès notable a été réalisé. Tout ceci est suffisant pour apporter une confirmation raisonnable que le travail de sélection va dans le bon sens.

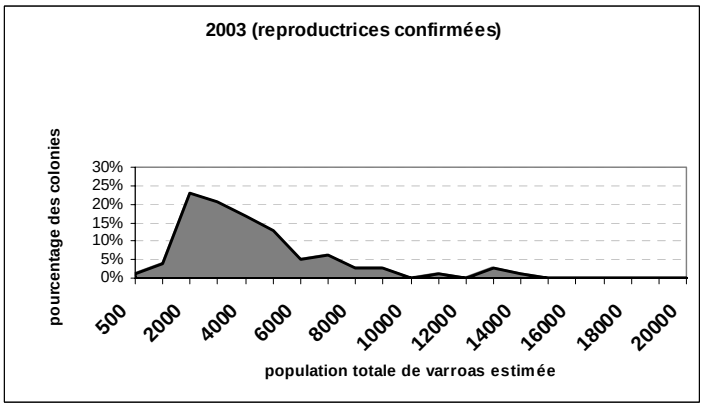
2.6.1.2 Réduction des variations entre les niveaux de résistance des colonies

Une autre impact notable de la sélection semble être la réduction de l'amplitude des variations entre les niveaux de résistance des colonies individuelles et par conséquent entre les niveaux des populations totales de varroas en fin de saison. Ce facteur est très important dans la perspective d'une application de la lutte intégrée à des ruchers commerciaux. En effet, comment appliquer une politique de traitement minimal si les niveaux d'infestation des colonies individuelles sont disparates à l'extrême? Les trois graphiques qui suivent montrent comment se répartissaient les populations de varroas de fin de saison des colonies individuelles pour les années 2000, 2002 et 2003. La variation légèrement plus grande dans les populations de fin en 2003 par rapport à 2002 s'explique probablement par la variation plus importante dans les niveaux de départ. En 2003 les chutes journalières au début de mai ont varié entre 0 et 4.4 pour une moyenne de 0.89 et un écart-type de 0.93 (échantillonnage d'une semaine ayant pris fin le 5 mai). En mai 2002 les colonies avaient toutes un niveau de mortalité naturelle indétectable suite à l'application d'un traitement complet à l'Apistan® à l'automne 2001. Pour la saison 2000 les conditions de traitement des colonies l'automne précédent ont été rigoureusement les mêmes que pour 2002. Il n'y a pas de données disponibles pour 2001. Ces résultats sont très révélateurs d'un effet de la sélection.

[8] donnée normalisées pour tenir compte du prélèvement de deux cadres de couvain en juillet 2003. Voir section 2.6.6.6

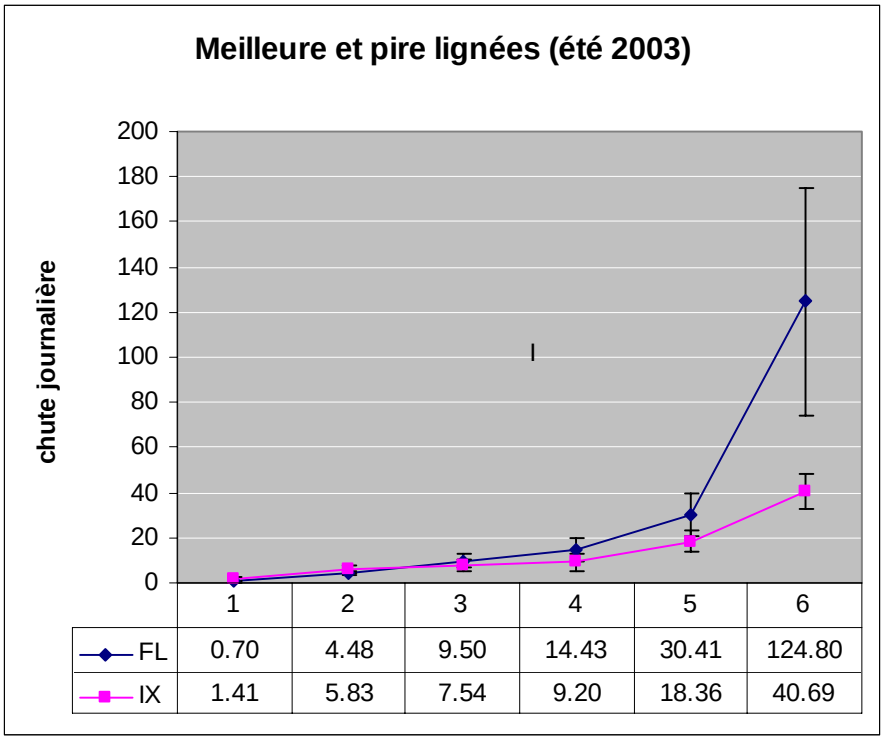

2000
pourcentage des colonies
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
500
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
18000
20000
population totale de varroas estimée


2002
pourcentage des colonies
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
500
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
18000
20000
population totale de varroas estimée


2003 (reproductrices confirmées)
pourcentage des colonies
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
500
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
18000
20000
population totale de varroas estimée

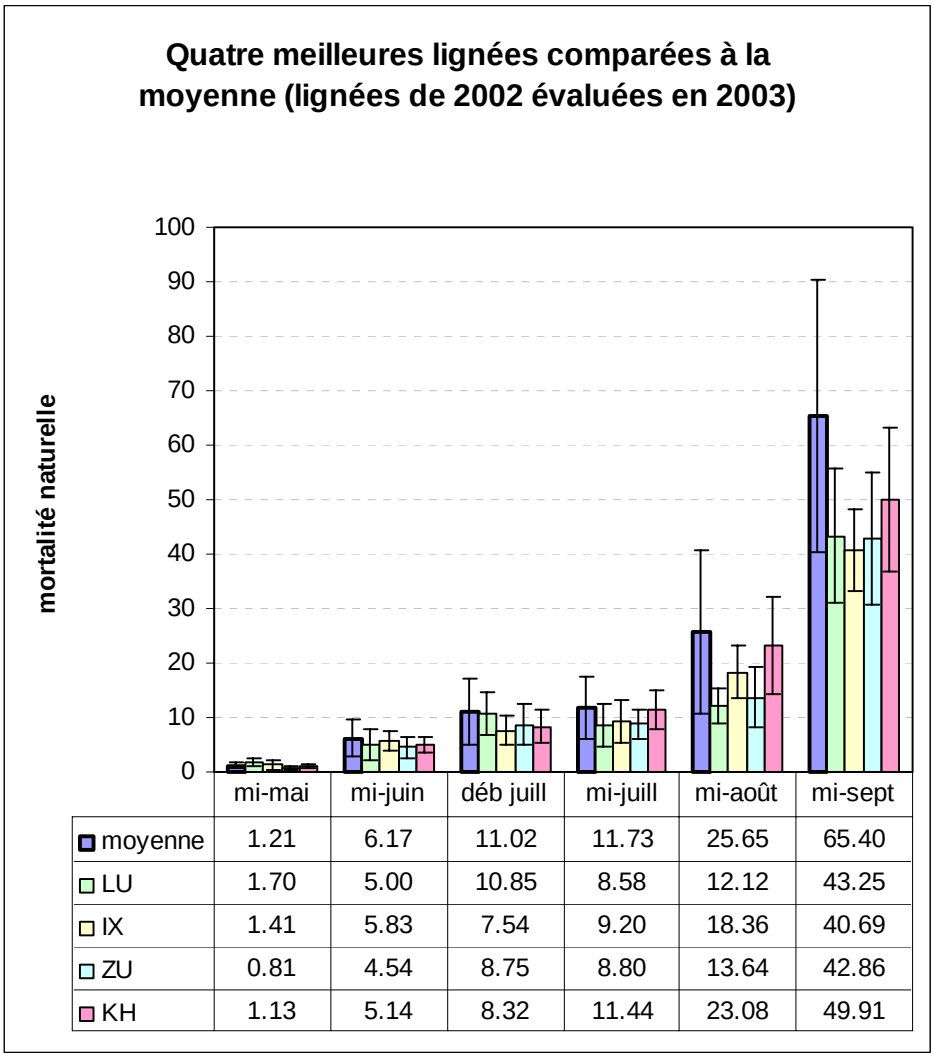
2.6.2 Comparaison des lignées

La comparaison en 2003 de la performance des lignées de la génération sélectionnée en 2002 remet en évidence l'importance du facteur génétique dans la résistance à l'infestation. On constate en effet des différences importantes entre les lignées. Voici comment ont évolué les courbes de chute naturelle pour la pire lignée comparativement à une autre parmi les trois meilleures. La lignée IX était représentée par 7 reines et la lignée FL par 8 reines.



	1	2	3	4	5	6
FL	0.70	4.48	9.50	14.43	30.41	124.80
IX	1.41	5.83	7.54	9.20	18.36	40.69

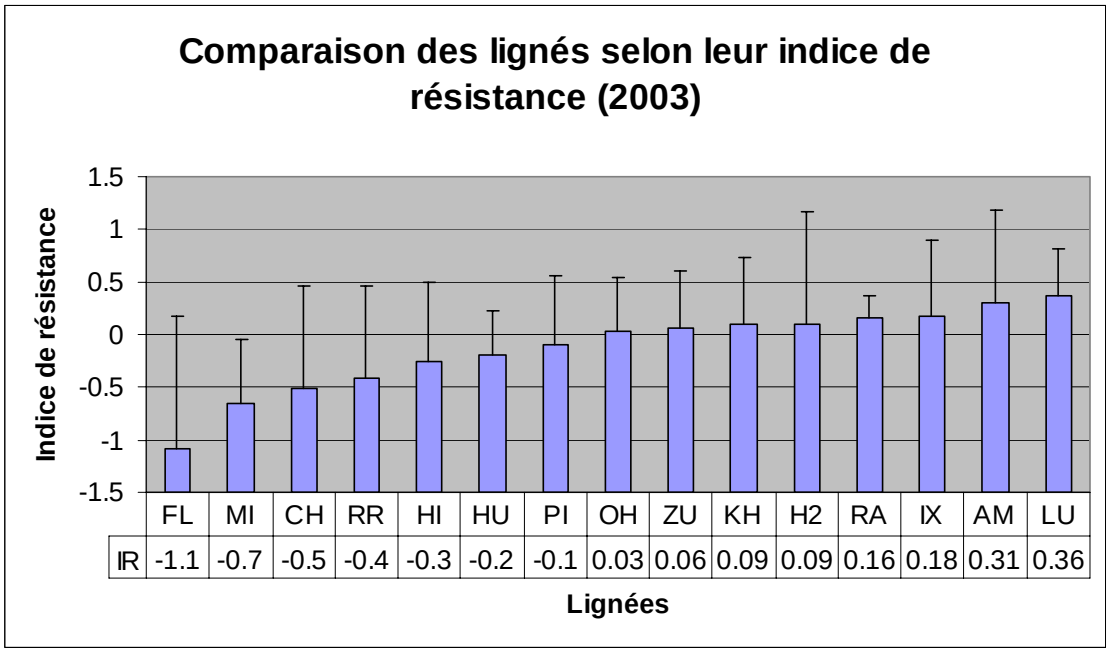
On trouvera à l'annexe V un tableau contenant les niveaux moyens et écarts-types de la mortalité naturelle de chaque lignée pour chacun des échantillonnages de l'été. Le graphique suivant montre comment ont évolué les mortalités naturelles moyennes et les écarts-types moyens pour les quatre meilleures lignées comparativement aux moyennes de l'ensemble des lignées. Il est intéressant d'observer que non seulement ces lignées se sont distinguées par leur plus bas niveau de mortalité naturelle mais, aussi, par leurs écarts types plus faibles que l'écart type moyen. Il importe de noter que les lignées LU et IX avaient des mortalités naturelles de départ plus élevées que la moyenne. L'évaluation des lignées doit aussi se faire en regardant leur performance pour la productivité en miel ainsi que leur niveau de comportement hygiénique. On trouvera ces données à l'annexe IV.



Nous nous sommes servis de plusieurs indices différents pour comparer nos lignées. Voici ces indices :

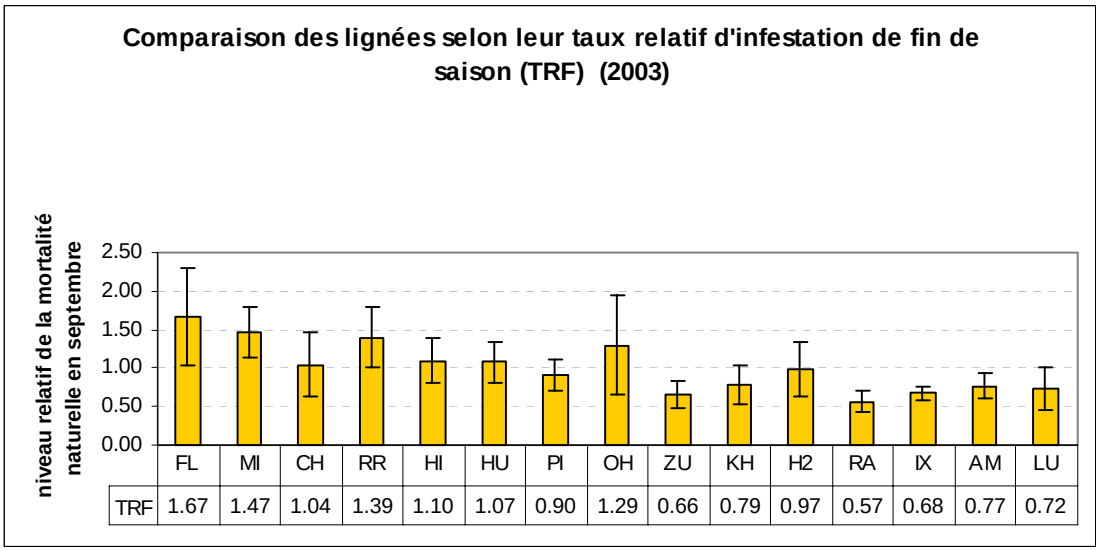
indice	définition
MNF	la mortalité naturelle journalière absolue de fin de saison soit le nombre de varroas tombés sur le carton d'échantillonnage de chaque colonies en une journée, calculé d'après un échantillonnage de 7 jours
TRF	le taux relatif de la mortalité journalière de fin de saison , soit la MNF des colonies individuelles divisée par la MNF moyenne de leur rucher respectif. Un indice TRF de 1 correspond à la MNF moyenne du rucher. Si l'indice TRF est plus grand que 1 la MNF de la colonie est plus importante que la MNF moyenne du rucher et inversement.
TM	le taux de multiplication des populations de varroas, soit la MNF de la colonie divisée par sa MND (mortalité de début)
JD	le nombre moyen de jours requis pour que la chute naturelle de la colonie double. Ici la JD a été calculée sur la période de la saison complète.
IR	et finalement, par le biais d'un indice relatif de résistance : taux de mortalité naturelle relatif de départ (TRD) moins le taux de mortalité relatif de la fin (TRF). Un indice de zéro correspond au niveau de résistance moyen des colonies. Un indice positif dénote une performance supérieure à la moyenne et un indice négatif une performance inférieure à la moyenne.

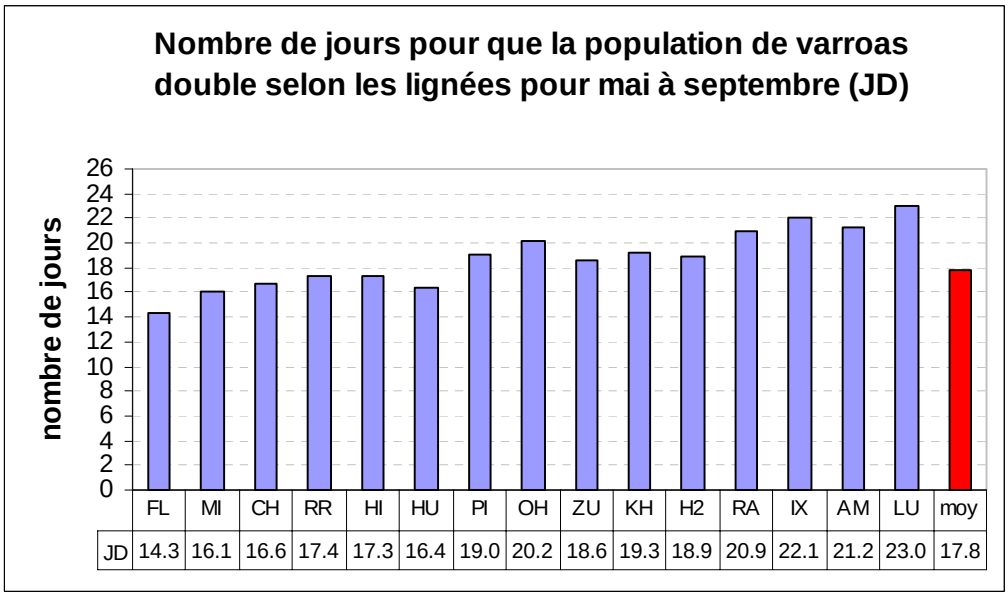
La moyenne de ces indices a été calculée pour l'ensemble des colonies de chacune des lignées. Les graphiques suivants comparent les lignées sur la base de ces indices. Les écarts types ont été ajoutés lorsque disponibles.



L'indice IR est intéressant : il tient compte à la fois du niveau d'infestation de départ et il élimine aussi le biais potentiel causé par l'effet rucher. Le tableau suivant indique les lignées entre lesquelles des différences significatives ont été trouvées.

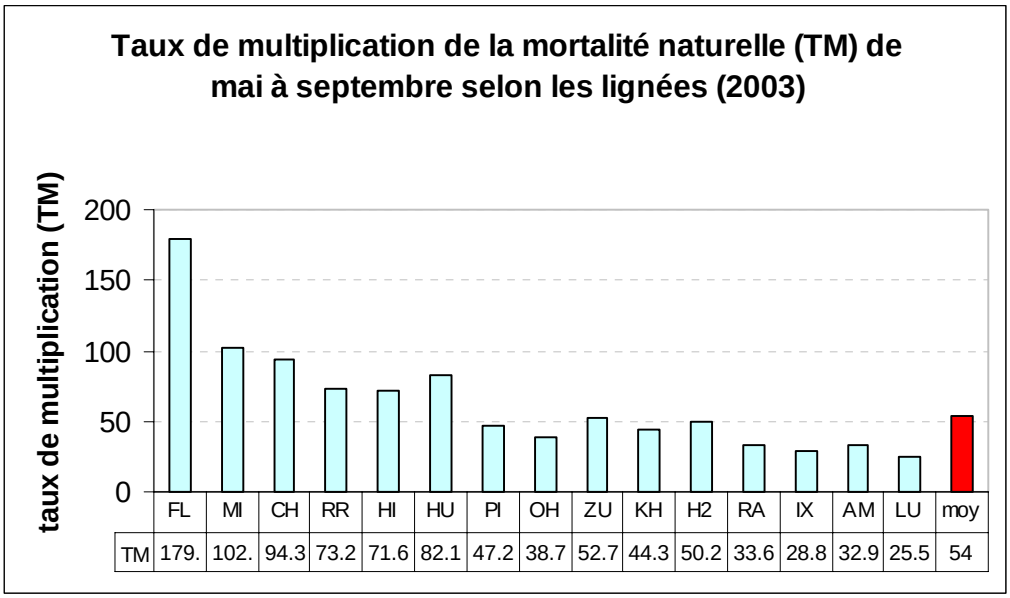
Groupes	Groupes statistiquement différents Alpha < 0,05
FL	KH, RA, AM, LU
MI	
CH	
RR	
HI	
HU	
PI	
OH	
ZU	
KH	FL
H2	
RA	FL
IX	
AM	FL
LU	FL





L'indice JD[9] ayant été calculé à partir des MN moyennes de chaque lignée et non pas pour les colonies individuelles, les écarts types ne sont pas disponibles pour cet indice. À noter que la comparaison des performances de 2002 et 2003 a été faite avec un indice JD calculé sur la période de juillet seulement.

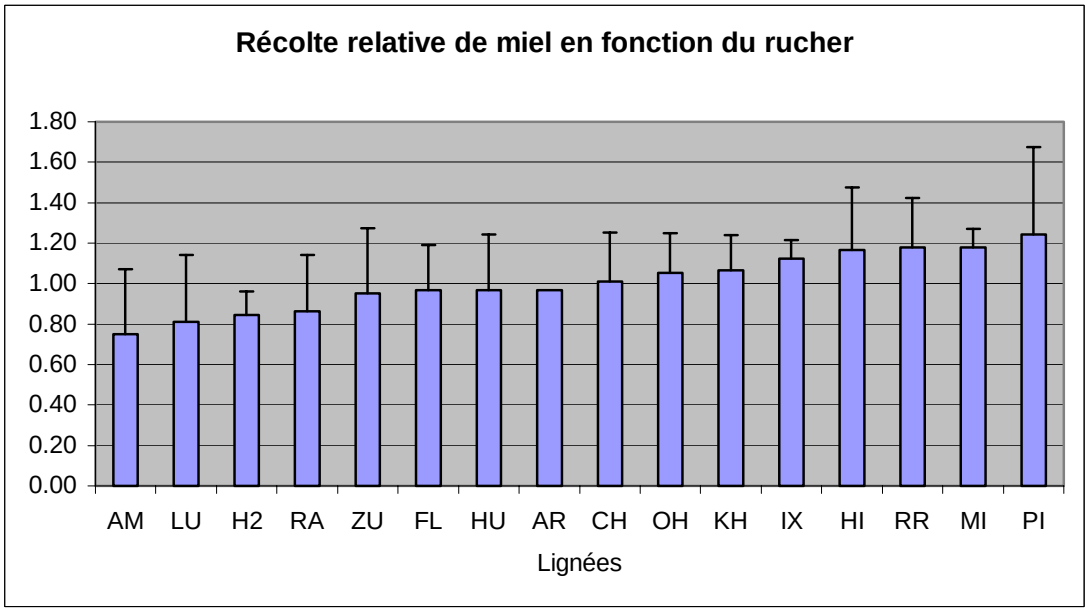
[9] À noter que pour fin de comparaison des lignées l'indice JD a été calculé sur toute la saison et non pas seulement sur la période de juillet à septembre comme ce fut le cas pour l'évaluation des progrès de 2002 à 2003 (tableau I)



L'indice TM ayant été calculé à partir des MN moyennes de chaque lignée et non pas pour les colonies individuelles, les écarts types ne sont donc pas disponibles pour cet indice.

La performance des lignées varie un peu selon l'indicateur choisi. On constate cependant que le classement global reste le même. Les différences génétiques se traduisent par des différences très importantes entre les taux de multiplication du varroa d'une colonie à l'autre et donc, entre les niveaux des populations de fin de saison. Les niveaux des populations de varroas à la fin de la saison ont varié du simple au double entre les meilleures et les pires lignées. La pire lignée (FL) a eu une MN moyenne de fin de 124 varroas/jour contre 33 pour la meilleure lignée (IX).

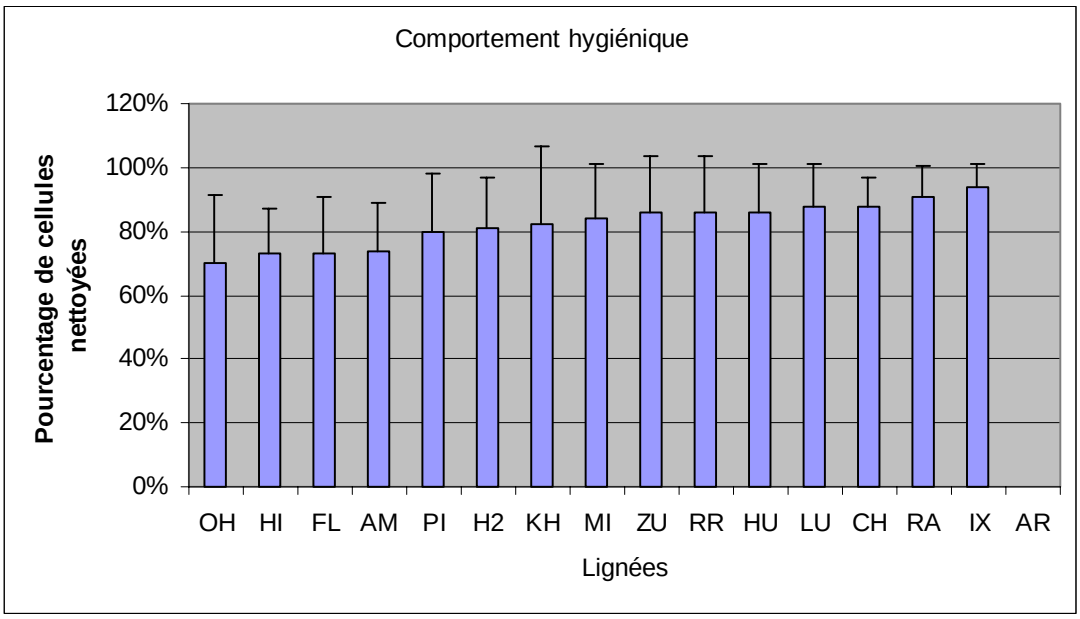
La comparaison des lignées ne serait pas complète si on ne tenait pas compte de la productivité et du comportement hygiénique. Voici comment se sont comporté les colonie pour ce qui est de la productivité[10] :



[10] test statistique Kruskal-Wallis Anova pour données non paramétriques. Différence significative entre AM et PI (niveau de probabilité de 0,0078, décision 0,05)

Un indice de 1 montre une productivité égale à la moyenne. On s'aperçoit que certaines lignées plus résistantes que la moyenne (LU et ZU) semblent avoir une productivité inférieure à la moyenne. Cependant certaines colonies individuelles de ces lignées démontraient une productivité supérieure et ont pu être utilisées comme reproductrices en 2003.

Voici finalement une comparaison des lignées sur la base du comportement hygiénique[11] :



L'évaluation des lignées issues de la sélection de 2003 sera faite au cours de la saison 2004.

2.6.3 Transmissibilité des caractères sélectionnés

Lorsqu'on met en relation le niveau de performance de chaque colonie choisie comme fondatrice de lignée avec la performance moyenne de toutes leurs reines filles, on trouve que ces données sont corrélées. Ceci illustre d'une autre manière qu'il semble bel et bien y avoir transmission d'une génération à l'autre des caractères sélectionnés.

Tableau III : corrélation entre te taux relatif de fin des reproductrices de 2001 et la performance de leur filles. Les corrélations ont été établies sur la base des moyennes de chaque lignée pour les différents indicateurs.

indicateur	corrélation
indice JD	-0.50
mortalité naturelle de fin (MNF)	0.45
taux relatif de fin (TRF)	0.24
indice de résistance (IR)	0.27
taux de multiplication (TM)	0.35

2.6.4 Étude des corrélations

Ce projet nous a permis de faire un certain nombre d'observations qui pourront être mises à profit dans de futurs travaux de sélection. Nous avons pu mettre en évidence un certain nombre de corrélations entre des indicateurs liés au niveau de résistance des colonies (le taux d'infestation en fin de saison) et d'autres caractéristiques. Ces corrélations[12] ont été établies pour les années 2002 et 2003. Voici ces corrélations :

[11] Test statistique Kruskal-Wallis Anova pour données non paramétriques. Aucune différence significative (niveau de probabilité 0,2494, décision 0,05)
[12] corrélations établies par la méthode Spearman

Tableau IV : corrélations entre le taux d'infestation en fin de saison (TRF) et d'autres indicateurs

	force de la colonie en début de saison	productivité de la colonie	comportement hygiénique
2002	0.28	0.26	-0.12
2003	0.47	0.35	-0.17

2.6.4.1 Corrélation positive avec la force de la colonie au printemps

Ceci indique l'importance de prendre en compte cette donnée lors de l'évaluation des taux de progression des populations de varroas. Dans une autre perspective cette corrélation nous apprend aussi que la force des colonies devrait être considérée lors de l'élaboration de calendriers de régie.

2.6.4.2 Corrélation positive avec la productivité en miel

Les colonies les plus productives au cours de la saison tendent à avoir des taux d'infestation plus élevés en fin de saison. La force au printemps et la productivité sont d'ailleurs elles mêmes corrélées. La mise en évidence de cette corrélation confirme la pertinence de sélectionner en même temps pour la résistance et pour la productivité. Certaines colonies démontrent en effet à la fois un degré de résistance supérieur et une productivité au-dessus de la moyenne. Cet aspect est très important et doit être pris en compte dans tout projet de sélection pour développer la résistance de l'abeille à la varroase. Le défaut de le faire résulterait en un abaissement de la productivité du stock en sélection.

2.6.4.3 Corrélation négative avec le comportement hygiénique

Une corrélation a été trouvée entre le taux d'infestation de fin de saison et le comportement hygiénique. Bien que faible cette corrélation a été mise en évidence au cours des deux années. Une corrélation du même ordre avait aussi été trouvée en 2001 (r = -0.13). Elle correspond d'ailleurs à un niveau de corrélation trouvé par d'autres chercheurs (Spivak 1996, 1998). Le niveau moyen du comportement hygiénique a été de 83% en 2002 et de 82% en 2003. Nous ne savons pas si ce niveau pourra être haussé davantage dans le futur sans recourir à l'insémination artificielle car ce caractère a trait à des gènes récessifs. On s'entend cependant dans les milieux scientifiques (Spivak) pour considérer qu'un niveau de 85% apporte une forte capacité de résister aux maladies du couvain. Le début de notre travail d'amélioration du comportement hygiénique remonte à 1995. La méthode utilisée à ce moment était différente (test de l'aiguille) et la performance moyenne d'alors n'est donc pas comparable. En 1998 alors que la méthode de congélation du couvain à l'aide d'azote liquide fut utilisée pour la première fois, le colonies nettoyaient en 24 heures en moyenne 61% du couvain tué par congélation. La corrélation que nous avons trouvée montre que l'amélioration du comportement hygiénique contribue à l'amélioration du niveau de résistance à la varroas. Ceci confirme la pertinence du choix de soumettre en parallèle nos colonies en sélection à un test de comportement hygiénique.

2.6.5 Choix des reproductrices sur la base d'un indicateur précoce

Afin de permettre la production d'une génération à chaque année notre protocole prévoyait de choisir les colonies reproductrices sur la base de leur performance à la mi-saison (indicateur précoce). La sélection sur la base d'un indicateur précoce est imparfaite. En 2002 huit reproductrices sur 15 ont vu leur performance confirmées lors de l'évaluation de fin de saison. Six reproductrices sur 10 ont été confirmées en 2003. Il faut aussi réaliser qu'il serait probablement possible d'identifier des colonies dont le niveau de résistance se démarque davantage si le choix était fait suite aux dernières évaluations de la saison.

Tableau V : taux de confirmation des reproductrices choisies sur la base de l'indicateur précoce

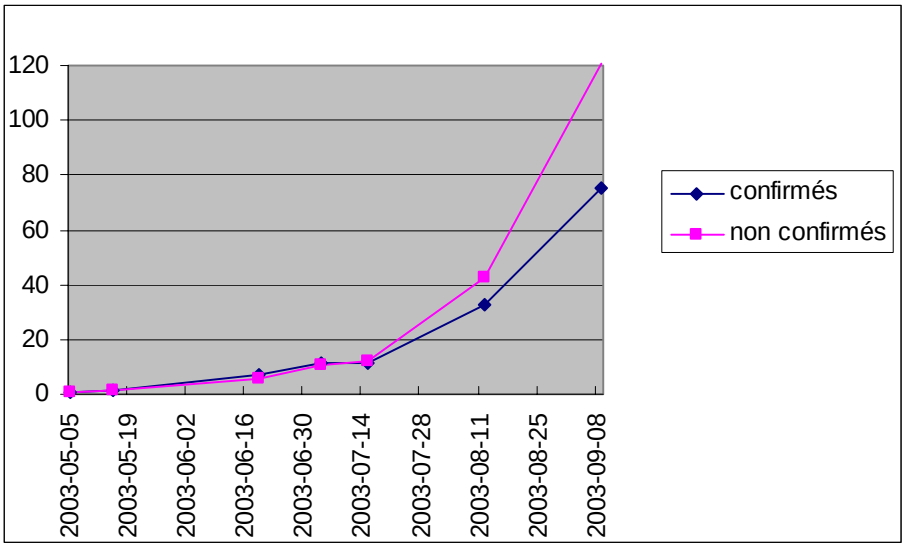
	reproductrices utilisées	reproductrices confirmées
2002	15	8 (53%)
2003	10	6 (60%)

La performance moyennes des lignées issues de reproductrices confirmées en fin de saison 2002 a été supérieure à celle des lignées non confirmées.

Tableau VI : performance des lignées issues de reproductrices confirmées comparée à celle des lignées non confirmées

	Taux de multiplication pour toute la saison	Jours pour doubler (JD) d'après la période du 19 juin au 9 septembre)	population totale de varroa de fin de saison estimée
Lignées 2002 issues de reproductrices confirmées	75.3	24.6	5731
Lignées 2002 issues de reproductrices non confirmées	145.7	18.6	6800

Ce graphique permet de mieux visualiser l'écart de performance à l'avantage des lignées confirmées. La comparaison est faite sur la base de la MNF. L'axe Y représente la mortalité naturelle journalière des varroas.



Même si la courbe de l'évolution du varroa des meilleures lignées peut se démarquer très tôt en saison, l'écart par rapport à la moyenne se marque considérablement en fin d'été. Choisir les colonies reproductrices sur la base d'indices établis à partir des résultats de fin de saison donnerait certainement une meilleure assurance de bons résultats.

Le risque d'erreur est bien sûr beaucoup plus élevé lorsqu'on porte un jugement d'après la mortalité naturelle d'une seule colonie comparativement à la moyenne de plusieurs colonies, à plus forte raison si les niveaux d'infestation sont encore bas. Afin de faciliter le choix des reproductrices, on a donc avantage à laisser aux colonies un niveau d'exposition le plus élevé possible en début de saison et à faire la sélection des reproductrices le plus tard possible en saison.

Malgré ses imperfections, la sélection sur la base d'un indicateur précoce nous a permis de faire des progrès significatifs. Bien sûr elle nous a permis de sélectionner une génération à chaque année plutôt que une à tous les deux ans. Ceci est un avantage important dans le contexte d'urgence où nous nous trouvons. La pratique de continuer à baser la sélection des reproductrices seulement sur un indicateur précoce est toutefois très discutable.

2.6.6 Développement de l'échantillonnage par la chute naturelle comme moyen de connaître les niveaux d'infestation et le potentiel de résistance des colonies

Une expertise importante a pu être développée au cours de ce projet sur l'utilisation de la chute naturelle des varroas comme moyen de connaître les niveaux d'infestation et le potentiel de résistance des colonies.

2.6.6.1 Précisions sur la manière de faire le comptage pour les échantillonnages en mortalité naturelle

Il existe un flou en Amérique du Nord sur la manière de faire les comptages en mortalité naturelle. Le flou réside autour du fait d'inclure ou de ne pas inclure dans le compte les varroas immatures (dont la pigmentation n'est pas complétée). À cette fin nous avons consulté quelques chercheurs européens (Imdorf et Fries) afin de nous aligner sur leur façon de procéder. La photo qui suit montre une gradation dans la pigmentation des varroas selon leur niveau de maturité. C'est à partir du niveau de pigmentation pointé par la flèche que nous nous avons inclus les varroas dans les comptes. Nous avons discuté cette façon de faire avec les vétérinaires québécois spécialisés en apiculture et nous l'avons proposée comme standard à l'occasion de nos différentes communications. C'est à partir de ce niveau de maturité que les varroas sont considérés comme viables.

Nous avons utilisé des cartons d'échantillonnage couvrant la totalité du fond de la ruche. Cette façon de faire semble nécessaire pour obtenir des comptes individuels justes. Nous suggérons qu'elle fasse aussi partie d'une méthodologie standard que nous nous pourrions nous donner.

2.6.6.2 Comparaison de l'échantillonnage en mortalité naturelle et du lavage à l'alcool

En juillet 2002 nous avons comparé le lavage à l'alcool à la mortalité naturelle comme moyens de dépistage. Le lavage à l'alcool s'est avéré être une méthode manquant nettement de précision. Cette méthode ne permet pas de préciser le niveau d'infestation lorsque celui-ci est bas. Pour les fins de cette comparaison la population totale de fin de saison a été évaluée par le comptage de tous les varroas récupérés durant un traitement complet à l'Apistan® appliqué à compter de la mi-septembre.

tableau VII : résultats du dépistage par lavage d'abeilles à l'alcool comparés à ceux obtenus par l'évaluation de la mortalité naturelle des varroas

no ruche	mortalité naturelle d'après 18 au 23 juillet (chute journalière)	lavage alcool 25 juillet (200 abeilles)	population totale de varroas en septembre
048	2.4	0	2458
062	1	0	887
138	0.2	0	398
146	2.8	0	398
235	0.2	1	417
240	0.2	0	775
257	0.6	0	228
288	0	0	469
359	0	0	1325
410	0.8	0	1186
429	0.2	0	413
612	0.2	0	420
617	2.2	0	1337
637	0.0	0	213

654	1.2	0	326
699	0.4	0	453
751	0	0	879
857	1.0	0	550
895	1.6	0	1980
corrélation avec pop.totale	**r = 0.79**	**r = -0.16**	

2.6.6.3 Comparaison du dépistage par la mortalité naturelle et du dépistage à l'aide d'un acaricide (Apistan®)

De la même façon, nous avons comparé les niveaux de précision de l'échantillonnage en mortalité naturelle et de l'échantillonnage à aide d'Apistan® en fin de saison.
Il s'est avéré que la mortalité naturelle était mieux corrélée à la population totale (r = 0.94) qu'un échantillonnage de 48 heures à l'aide d'Apistan® (r = 0.86). La population totale de a été évaluée par le comptage complet de tous les varroas chutant pendant un traitement complet à l'Apistan®. En conséquence, la mortalité naturelle a été retenue comme indicateur pour l'évaluation de la performance des colonies en fin de saison.

tableau VIII : comparaison de l'échantillonnage par la mortalité naturelle et de l'échantillonnage à l'aide d'Apistan®

no ruche	mortalité naturelle d'après 13 au 19 septembre (chute journalière)	Apistan® 48 heures 21-22 septembre	population totale de varroas en septembre
048	58.8	804	2458
062	8.2	237	887
138	4	93	398
146	55.3	351	398
235	4.5	84	417
240	6.7	205	775
257	3.8	74	228
288	1.5	89	469
410	8	200	1186
429	7.7	85	413
612	4.8	116	420
617	11	369	1337
637	2.7	80	213
654	3.2	66	326
699	3.7	145	453
751	9.7	200	879
895	30.8	497	1980
corrélation avec pop.totale	**r = 0.94**	**r = 0.86**	

2.6.6.4 Durées d'échantillonnage

Nous avons travaillé avec des échantillonnages d'une durée d'une semaine. Cette durée nous est apparue satisfaisante. Au-delà d'une semaine, le comptage des varroas devient difficile à cause de la trop grande accumulation de débris sur les cartons d'échantillonnage. Pour plus de précision nous avons réalisé deux échantillonnages successifs d'une semaine au début de la saison. Ces durées d'échantillonnage nous ont permis d'obtenir la précision requise dans le cadre d'une recherche scientifique.

Cependant les producteurs pourrait être adéquatement informés des niveaux d'infestation moyens de leurs colonies en utilisant des durées d'échantillonnage plus courtes. (Voir les suggestions à la fin)

2.6.6.5 Recherche de varroas mutilés

Nous avons aussi voulu savoir :

- s'il y avait présence de mutilations dans les varroas recueillis sur nos cartons d'échantillonnage
- si la proportion des varroas mutilés était en relation avec le niveau de résistance des colonies (MNF et TRF)
- si la proportion de varroas mutilés était en relation avec le comportement hygiénique

Pour faire ces vérifications nous avons choisi une trentaine de colonies réparties à peu près également entre les plus infestées et les moins infestées. Pour chacune de ces colonies nous avons prélevé au hasard sur les cartons d'échantillonnage recueillis au début de septembre un nombre de varroas variant en général entre 10 et 30 (19,6 en moyenne). Nous avons examiné ces varroas à l'aide d'un binoculaire afin de déceler d'éventuelles mutilations à la carapace, aux pattes ou aux antennes. Nous avons été surpris de constater qu'il y avait des varroas mutilés sur presque tous les cartons. En moyenne 30% des varroas montraient des signes de mutilation. Le tableau suivant montre les résultats de cette vérification. Nous avons aussi constaté de faibles corrélations, négative avec la MNF ($r = -0.26$) et avec la TRF ($r = -0.15$) et positive avec le comportement hygiénique ($r = 0.36$)[13]. Ces résultats ne sont pas solides étant donné le relativement faible nombre de varroas vérifiés pour chaque colonie. Cependant ils semblent indiquer que l'épouillage joue bel et bien un rôle dans la résistance. Le fait que cette corrélation soit faible laisse supposer que cette caractéristique n'est pas la seule en cause. Ceci nous permet aussi de croire que le fait d'opérer la sélection sur des colonies équipées de plateaux grillagés crée probablement effectivement la synergie que nous recherchions. Le plateau grillagé faciliterait le dépistage des colonies qui sont meilleures épouilleuses et les bonnes épouilleuses peuvent probablement mieux valoriser cette qualité en présence d'un plateau grillagé. Il semble aussi y avoir une faible association entre le comportement d'épouillage et comportement hygiénique pour lequel nous avions déjà trouvé une très faible mais constante corrélation avec le degré de résistance. Le choix de faire la sélection en jugeant globalement le niveau de résistance des colonies paraît être un bon choix puisque visiblement plusieurs mécanismes semblent contribuer à la résistance.

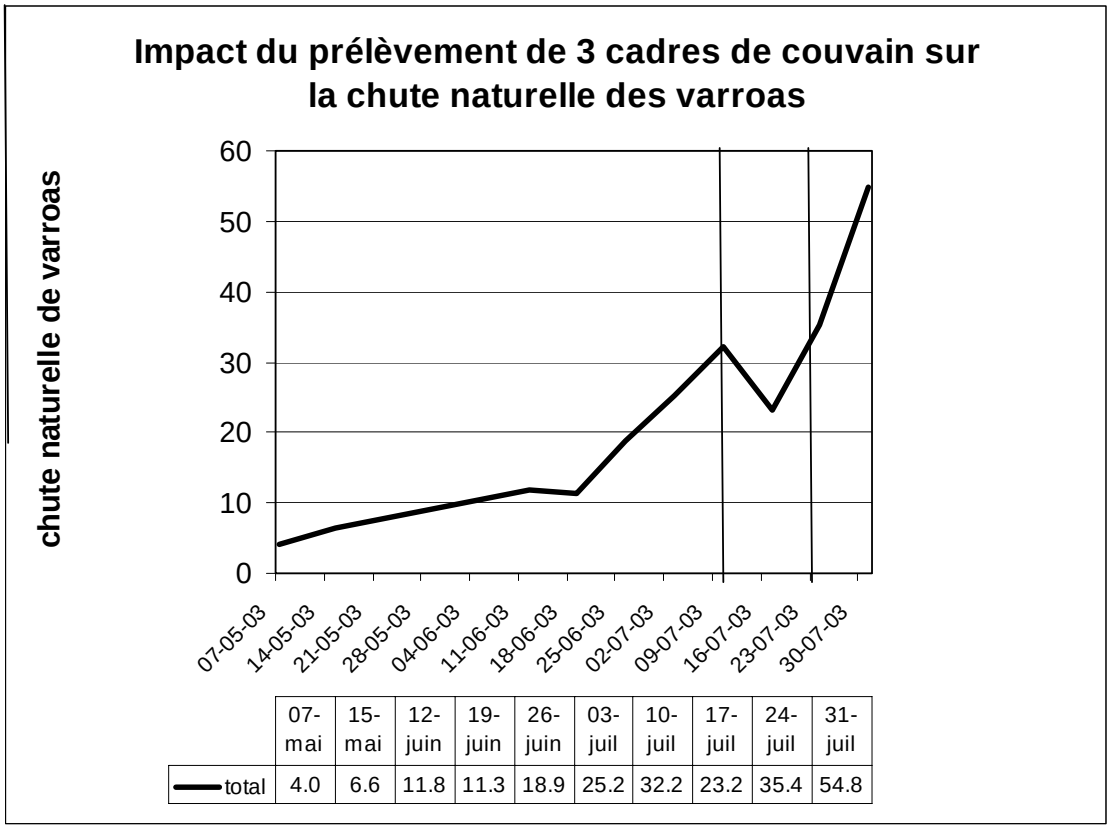
[13] aucun test statistique réalisé

Tableau IX : pourcentage de mutilations et niveau de résistance

no ruche	mutilés	non mutilés	% mutilations	MNF	TRF	HYG
27	3	16	16%	8.9	0.5	100%
48	20	28	42%	30.3	3.6	
70	11	6	65%	7.7	0.5	96%
94	5	18	22%	10.9	0.4	83%
145	3	11	21%	4.3	0.2	89%
146	19	10	66%	40.4	4.8	
172	0	13	0%	6.1	0.6	58%
238	1	8	11%	3.4	0.3	38%
240	8	4	67%	6.3	0.7	
276	0	20	0%	138.7	7.5	93%
296	1	9	10%	4.3	0.2	87%
304	9	18	33%	8.6	0.4	100%
324	3	11	21%	4.4	0.4	98%
331	5	20	20%	9.9	1.0	32%
359	7	9	44%	8.7	1.0	97%
473	2	14	13%	5.1	0.5	75%
474	7	24	23%	52.7	2.8	48%
496	7	13	35%	12.6	0.3	96%
505	4	20	17%	143.1	4.8	78%
528	3	14	18%	10.1	0.3	100%
535	3	9	25%	4.6	0.5	96%
545	4	23	15%	59.0	2.2	85%
617	11	9	55%	11.0	1.3	
627	10	32	24%	178.3	7.4	47%
630	3	17	15%	71.9	4.6	
637	4	0	100%	2.3	0.3	
662	6	21	22%	63.4	2.1	76%
750	3	12	20%	10.3	0.2	93%
848	3	7	30%	2.4	0.2	100%
870	6	9	40%	7.6	0.5	98%
882	3	5	38%	2.3	0.1	95%
895	6	19	24%	15.6	1.8	
			corrélation	**-0.26**	**-0.15**	**0.36**

2.6.6.6 Impact du prélèvement de couvain et d'abeilles sur la chute naturelle des varroas

Le prélèvement de couvain et d'abeilles d'une colonie pour faire des nucléi a pour effet de faire chuter immédiatement la mortalité naturelle de la colonie donneuse. Le graphique suivant montre que le prélèvement de trois cadres de couvain avec les abeilles adhérentes a eu pour effet de ralentir de 15 jours la progression la mortalité naturelle. Les cadres de couvain ont été prélevés immédiatement après l'échantillonnage du 16 juillet. Ces données ont été recueillies à partir d'un échantillon de 23 colonies. On peut légitimement présumer que le prélèvement de chaque cadre de couvain a un effet de retardement d'environ 5 jours sur la progression de la mortalité naturelle des varroas. Cette donnée sera utile lorsqu'on voudra comparer la performance d'une année à l'autre si le prélèvement de couvain n'a pas été identique au cours des années comparées. Un ajustement pourra donc être apporté aux données de chutes naturelles pour tenir compte du nombre de cadres de couvain retirés de la ruche. Il ne faut pas conclure que le fléchissement de la courbe de mortalité naturelle corresponde à une baisse proportionnelle du niveau d'infestation car le nombre moindre de varroas correspond aussi à une réduction de la population d'abeille de la ruche. Il est donc important de traiter toutes les colonies de façon uniforme si on désire prélever du couvain sur des colonies en sélection.



	07-mai	15-mai	12-juin	19-juin	26-juin	03-juil	10-juil	17-juil	24-juil	31-juil
total	4.0	6.6	11.8	11.3	18.9	25.2	32.2	23.2	35.4	54.8

2.6.6.7 ***Interprétation de la chute naturelle***

Nous avons utilisé la chute naturelle des varroas comme principal indicateur du niveau d'infestation des colonies. Il faut cependant savoir que les chiffres de mortalité naturelle ne peuvent pas toujours être interprétés de la même façon. En Europe il est généralement reconnu qu'en circonstances normales, c'est-à-dire en pleine saison lorsque la production de couvain est relativement stabilisée dans la colonie, un varroa trouvé sur le carton d'échantillonnage correspondrait à 100-120 varroas au total dans la colonie. Ceci inclut les varroas en phase phorétique (ceux sur les abeilles adultes) comme ceux en phase de reproduction à l'intérieur du couvain. Ce ratio est valable pour un comptage réalisé selon le standard précisé à la section 2.6.6.1 de ce rapport. Cependant dans les périodes où le couvain est en augmentation ou encore en diminution, le ratio habituel pourrait ne plus être valable. En 2002, nous avons vérifié ce ratio à la mi-septembre sur un nombre restreint de colonies (17). Nous avons compté tous les varroas chutant sur le carton pendant la durée totale d'un traitement complet à l'Apistan® commencé le lendemain de l'échantillonnage en mortalité naturelle. Le ratio trouvé a été de 1/70. Précisons qu'un test de résistance des varroas à l'Apistan avait été réalisé auparavant et avait été négatif. Cependant le faible nombre de varroas présents dans les échantillons d'abeilles prélevés réduit la fiabilité du test de résistance.

En 2004, une autre vérification semblable faite à pareille date sur un plus grand nombre de colonies a donné un ratio plus près de 1/120.

tableau X : ratio chute naturelle sur population totale de varroas à la mi-septembre

	chute nat 24 h d'après (12-19 sept.)	population tot. Apistan 42 jours
	59	2458
	8	887
	4	398
	55	2820
	5	417
	7	775
	4	228
	2	469
	8	1186
	8	413
	5	420
	11	1337
	3	213
	3	326
	4	453
	10	879
	31	1980
moyennes	13	923
ratio	1/ 70	

À l'automne 2003 nous avons procédé de façon similaire afin de préciser ce même ratio au début d'octobre. Les colonies qui ont servi pour cette évaluation étaient logées en ruches double et avaient de 3 à 4 cadres de couvain à ce moment (environ 600 cm^2). Cette fois-ci l'évaluation a été faite en utilisant un traitement au Coumaphos. Le ratio trouvé a été de 1/38. Cependant un traitement expérimental à l'acide oxalique réalisé au début de novembre a provoqué une mortalité de varroas qui donnait un ratio s'approchant plutôt de 45. En 2004, une autre vérification faite à pareille date a donné un ratio de 1/163.

Les variations relativement importantes entre ces deux années nous suggèrent d'être très prudents dans l'utilisation de ces ratios.

Tableau XI : tableau synthèse des ratios provisoires de mortalité naturelle sur population totale de varroas

période	ratio
été	**1/100-120**
mi-septembre	**1/70** (2002) **1/100-120** (2004)
début octobre	**1/38** (2003)
début novembre	**1/45** (2003) **1/163** (2004)

Nous n'avons pas été en mesure de préciser ce ratio en période printanière.

Impact

Les pertes directes en valeur de colonies et en valeur de production ont excédé 10 millions de dollars au Québec en 2003. Voici comment elles se répartissent* :

perte de colonies (50%)	perte de production (75%)	valeur totale de la perte
3 963 875 $	**6 369 000 $**	**10 332 875 $**

* données de base utilisées pour l'évaluation des pertes :

nombre de colonies au Québec en 2002 (BSQ)	31711
valeur de la production en 2002 (BSQ)	8 492 000 $
valeur marchande d'une colonie	250 $

Les pertes qu'ont subies les producteurs maraîchers et les producteurs de fruits à cause de la pénurie de ruches disponibles pour la pollinisation ont probablement été encore plus importantes.

Ce projet aura permis d'augmenter le niveau de résistance des colonies de façon sensible. Déjà, l'utilisation du stock amélioré permet de ralentir la multiplication du parasite dans les ruches. Ceci signifie que moins de colonies seront perdues en cours de saison et aussi que moins de traitements seront requis. Le niveau de résistance atteint par notre meilleure lignée serait suffisant pour concevoir une stratégie de lutte intégrée dans laquelle le traitement printanier ne serait plus nécessaire. Le stock amélioré sera offert aux autres éleveurs québécois afin d'en favoriser la distribution la plus large possible. Les perspectives d'amélioration futures sont excellentes. L'expertise acquise au cours de projet nous permettra probablement de poursuivre encore plus efficacement cette valorisation. Ces développements trouveront un impact accru lorsqu'ils pourront être intégrés au sein d'une stratégie globale de lutte intégrée.

Les connaissances techniques acquises au cours du projet en ce qui concerne l'évaluation des niveaux d'infestation par la mortalité naturelle des varroas peuvent dès maintenant être appliquées par les producteurs et permettront de réduire les pertes de ruches.

2.6.7 Diffusion des résultats

Jusqu'à maintenant les résultats ont pu être diffusés à par les moyens suivants :

- L'essentiel des résultats de la première saison a été présenté à la communauté apicole québécoise à l'occasion d'une conférence d'une heure présentée le 18 janvier à Saint-Hyacinthe dans le cadre d'un colloque du CRAAQ portant sur la lutte intégrée aux acariens. Ce colloque regroupait plus de 300 participants. On pourra consulter le texte de cette conférence sur le CD joint à ce rapport

- Un article a été rédigé sur l'application concrète de l'échantillonnage en mortalité naturelle avec le plateau grillagé. Cet article est paru dans la revue québécoise « l'Abeille » (vol 24, no 1). Il présentait l'état des connaissance acquise sur le dépistage en mortalité naturelle après la première année du projet . On trouvera une copie de cet article sur le CD joint.

- Entrevue radiophonique de 10 minutes à l'émission « D'un soleil à l'autre » à Radio Canada le 7 mai 2003. L'entrevue portait sur le travail d'amélioration génétique pour la résistance à la varroase et sur la lutte intégrée.

- Entrevue radiophonique de 5 minutes à la radio anglaise de Radio-Canada sur les moyens de faire face aux problèmes de pertes importantes vécues par les apiculteurs à cause de la varroase au printemps 2003 (printemps 2003, date précise non notée).

- Les grandes lignes des résultats du projet ont été communiqués dans trois conférences de plus d'une heure présentées à l'occasion des événements suivants :

    - **Congrès de la fédération des apiculteurs du Québec**, Drummondville, Québec, 18 novembre 2003
    - **Congrès de la Ontario Beekeeper's Association**, London, Ontario, 22 novembre 2003
    - **Symposium de recherche du Canadian Honey Council, du Manitoba Beekeepers' Association et de la Canadian Association of Professionnal Apiculturists**, 30 Janvier 2004

- Les résultats du projet seront également déposés sur le site d'Agri-réseau de même que sur le site de Les Reines Chapleau (reineschapleau.wd1.net)

3 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La sélection les abeilles pour la résistance à la varroase est une entreprise réaliste. Les effets de cette sélection sont très rapidement visibles. Il n'est toutefois pas réaliste d'espérer à court terme contrôler la varroase par la seule utilisation d'un stock sélectionné pour la résistance. Par contre, la sélection peut rapidement permettre de développer des abeilles qui arrivent à ralentir de façon significative le développement de l'infestation. Nous soulignons que des gains même modestes en ce sens peuvent faire une différence importante. Au cours de notre étude les varroas ont doublé à tous les 10 à 25 jours selon les saisons et selon les lignées. Une population de varroas qui double une fois de moins au cours de la saison peut faire la différence entre des colonies saines et des colonies qui hiverneront mal parce leur abeilles ont été trop parasitées à la fin de saison. En contexte de production commerciale l'utilisation de stock résistant facilitera la planification des traitements en lutte intégrée parce que les niveaux d'infestation des colonies individuelles seront plus homogènes.

Recommandations concernant la sélection :

A. Il serait très utile que la sélection pour la résistance se poursuive. Il est possible de réaliser des gains supplémentaires importants.

B. La méthodologie que nous avons utilisée fonctionne bien. Elle pourrait être adoptée dans ses grandes lignes par d'autres personnes qui voudraient faire le même genre de travail. Certaines précisions méritent d'être apportées

1. Nous suggérons qu'une meilleure efficacité pourrait peut-être être obtenue en choisissant les reproductrices, au moins en partie, à partir des résultats de fin de saison.

2. La comparaison des performances sera facilité si le niveaux d'infestation des colonies au départ ne comporte pas trop d'écarts importants.

3. Il est important de ne pas découpler la sélection pour la résistance de la sélection pour la productivité.

4. La comparaison des résultats de l'hivernage 2003-4 pour les abeilles Primorsky et les abeilles issues des deux années de sélection de ce projet suggère qu'il faudrait distinguer deux aspects dans la sélection pour la résistance de l'abeille à la varroase[14]. Ces deux aspects sont les suivants :

   i. la capacité des colonies à ralentir le développement de l'infestation

   ii. la capacité des colonies à supporter sans dommage des charges importantes de varroas. Ce deuxième aspect semble surtout lié à la capacité des colonies à résister aux infestations virales secondaires qui accompagnent le plus souvent les hauts niveaux d'infestation.

   Le présent projet portait sur l'amélioration de la capacité des colonies à ralentir le développement de l'infestation. Sous le rapport de la résistance à la varroase les meilleures abeilles seraient certainement celle qui cumuleraient les deux caractéristiques. **Nous croyons donc qu'il serait pertinent de tenter d'incorporer la génétique Primorsky à celle développée par ce projet.** Nous recommandons que ces essais soient réalisés dans un contexte d'isolation afin de ne pas créer une situation irréversible non souhaitée. Nous suggérons que ultimement les abeilles issues de ces croisements soient aussi être évaluées pour leur capacité à résister aux infestations secondaires en situation d'exposition au parasite en période hivernale.

[14] Les constatations faites par Pierre Giovenazzo ont été faites au printemps 2004 sur des colonies qui n'ont pas reçu de traitement à la fin de la saison 2003 (rapport de Pierre Giovenazzo à venir).

Suggestions visant les chercheurs et les professionnels de l'apiculture

C. Il serait utile de standardiser au maximum les méthodes de dépistage. Ceci concerne non seulement les chercheurs mais aussi les personnes prodiguant des conseils aux producteurs. Ceci nous semble indispensable si on désire émettre des recommandations d'interventions qui soient claires et qui puissent être suivies facilement par les producteurs. La standardisation devrait porter sur les points suivants :

1. la méthode (dépistage en mortalité naturelle)
2. la grandeur des cartons d'échantillonnage
3. quels varroas inclure dans le comptage
4. les durées d'échantillonnage selon le temps de la saison (voir plus loin)
5. l'expression des résultats des comptages sur une base de temps fixe et commune

On trouvera plus loin une suggestion de standard.

D. Beaucoup d'efforts de recherche sont présentement déployés pour développer des stratégies visant à contrôler la varroase. Ces efforts portent sur le développement de moyens d'intervention spécifiques tels la sélection, les traitements etc. et aussi parfois sur des stratégies de lutte intégrées cumulant plusieurs moyens d'intervention. Il est présentement difficile de comparer les apports potentiels respectifs de ces mesures ou ensembles de mesures. Nous proposons donc qu'une même unité de mesure soit utilisée pour évaluer l'efficacité des moyens ou des stratégies testés. Nous suggérons que l'indice JD, (nombre de jour requis pour que la chute naturelle des varroas double, voir section 2.6.1.1) pourrait être universellement utilisé à cette fin. En plus de faciliter la comparaison cet indice permet de projeter sommairement l'évolution des niveaux de chute naturelle sur une période précise à partir d'un taux de départ connu.

Recommandations destinées aux producteurs apicoles

E. Utilisation de stock résistant

Les dommages faits aux colonies en fin de saison[15] à cause de taux d'infestation trop élevés pourraient être réduits sinon éliminés et la pression de traitement serait moins forte à l'automne si les producteurs utilisaient du matériel génétique amélioré en fonction de la résistance à la varroase. Afin de maximiser ses bénéfices, le matériel génétique résistant devrait être utilisé dans le cadre d'une stratégie cohérente de lutte intégrée comme ce fut le cas selon le protocole de ce projet.

À titre d'information le matériel génétique amélioré a été distribué à tous les éleveurs québécois qui en ont désiré en recevoir.

F. Utilisation du dépistage par la mortalité naturelle

Le dépistage par l'évaluation de la chute journalière des varroas est le meilleur moyen le plus facile et le plus précis pour dépister, surtout si les ruches sont équipées de plateaux à fond grillagé adaptés. Il devrait être adopté par tous comme standard.

G. Alignement sur un standard commun pour le dépistage par la mortalité naturelle

Les dépistages en utilisant la mortalité naturelle devraient être faits selon une technique standard

- D'abord on devrait utiliser des cartons d'échantillonnage dont la surface est égale à celle du plancher de la ruche.

[15] Sur ce sujet on consultera l'article de revue : Varroase : pertes hivernales et taux d'infestation avant traitement automnal, à paraître dans le revue l'Abeille

- On devrait compter non seulement les varroas matures (foncés) mais aussi ceux qui sont pâles (voir section 2.6.6.1)
- Le résultat des comptages devrait toujours être exprimé sur une base de 24 heures.
- Les durées d'échantillonnage ont avantage à être adaptées à la situation. Si les niveaux sont bas, on doit échantillonner plus longtemps pour obtenir une précision raisonnable. Provisoirement, les durées suivantes peuvent être suggérées :

avril à juin	juillet-août	septembre	fin de saison (après les traitements)
4 - 7 jours	3 - 5 jours	2 - 4 jours	4 - 7 jours

Les producteurs qui voudraient simplifier pourraient adopter une durée uniforme de 4 jours. Noter cependant que les durées d'échantillonnages plus courtes permettent d'obtenir des cartons plus propres et donc plus faciles à compter. Ceux qui ne disposent pas de plateaux grillagés ne peuvent pas échantillonner sur de si longues périodes.

Annexe I

Détermination du ratio chute de varroas durant les premiers 48 heures avec utilisation d'Apistan® versus population totale de varroas dans la colonie

Ce tableau montre comment se répartissait, avant l'apparition de la résistance à ce produit, la tombée des varroas durant un traitement à l'Apistan®. Le pourcentage de la population totale de varroas tombant au cours du premier 24 heures si situait autour de 18%. La tombée du premier 48 heures d'un traitement correspondait à 28% de tous les varroas recueillis au cours des 42 jours du traitement. Ces données ont été obtenues à l'automne 2002 à partir d'un échantillon de 19 colonies. L' Apistan® ne peut désormais plus être utilisé pour faire l'évaluation des populations de varroas à cause du développement chez l'acarien d'une résistance à ce produit.

	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%**	

4 ANNEXE II

Colonies retenues comme reproductrices en 2002 pour produire la génération évaluée en 2003

Le choix de ces reproductrices fut fait sur la base d'un indicateur précoce, à savoir la mortalité naturelle à la mi-juillet. Les lignées encadrées ont vu leur bonne performance confirmée par deux échantillonnages au début de septembre.

								rel	rel	rel	rel	rel	rel	rel	rel
NO	LIGNÉE	FORCE	FORCE REL	HYGIÈNE	HYGIÈNE REL	HYG(100%)	réc_rel	09-07-02	16-07-02	31-07-02	07-08-02	06-09-02	13-09-02	Moyenne	moyenne sept
324	AU	20.0	1.67	1.0	1.3	0.8	1.2	1.44	0.00	1.24	0.00	1.23	0.45	0.7	0.84
870	GU	17.0	1.18	1.0	1.0	0.9	1.3		0.00	0.00	0.67	0.44	0.49	0.3	0.47
008	AB	14.0	0.95	0.9	1.3	0.9	1.2	0.27	1.02	0.00	0.81	1.34	0.87	0.7	1.11
070	TR	12.0	0.83	1.0	1.0	0.9	1.4		0.75		0.67	0.60	0.50	0.6	0.55
357	CI	18.0	1.27	0.8	1.0	0.8	1.6		0.37	0.25	0.15	0.63	0.84	0.4	0.73
359	C1	19.0	1.16	1.0	1.0	1.0		0.00	0.22	0.37	0.51	1.26	1.03	0.6	1.15
848	GA	16.0	1.09	1.0	1.1	0.9	1.2		0.00	0.32	0.40	0.28	0.21	0.2	0.24
304	AR	18.0	1.27	1.0	1.2	1.0	1.3	0.00	0.00	0.33	0.42	0.93	0.69	0.4	0.81
816	C9	15.0	1.05	0.8	0.9	0.7	1.0		0.00	0.00	0.22	0.29	0.35	0.2	0.32
750	AP	16.0	1.18	0.9	1.0	0.6	1.7		0.61	0.00	0.40	0.74	0.29	0.4	0.52
496	PH	12.0	0.88	1.0	1.1	0.9	1.2		0.61	1.13	0.20	0.66	0.35	0.6	0.51
321	C9	11.0	0.77	1.0	1.2	1.0	1.2		0.00	0.00	0.13	0.19	0.18	0.1	0.18
528	C1	19.0	1.33	1.0	1.1	1.0	1.1		0.00		0.00		0.65	0.2	0.65
041	AP	20.0	1.40	1.0	1.1	1.0	1.3		0.00	0.24	0.55	0.27		0.3	0.27
282	MX	16.0	1.09	0.9	1.1	0.9	1.2		0.30	1.59	1.21	0.57	1.19	1.0	0.88

Critère pour confirmation des breeders:

taux relatif moyen en septembre sous 0.75

le gain relatif à partir du début ne semble pas être un critère valable si les taux d'infestation de départ sont très bas.

5 ANNEXE III

Résultats du test de Pettis réalisé sur 19 colonies le 2 septembre 2002.

Le test de Pettis est utilisé pour déterminer si une population de varroas démontre une résistance à l'Apistan® et pour évaluer ce niveau de résistance. Dans les colonies retenues pour procéder au test de Pettis figuraient les 15 les plus infestées de tout le rucher d'après la mortalité naturelle au début de septembre. Advenant qu'il y ait eu présence de résistance à l'Apistan® dans les populations de varroas de nos ruches, il y aurait eu une plus grande probabilité de trouver un certain niveau de résistance chez ces colonies très infestées. Le test a été réalisé à partir d'échantillons contenant environ 200 abeilles. Notons que le faible nombre de varroas présents dans les échantillons rend ces résultats moins fiables.

no de la colonie	chute naturelle 24 heures le 6 sept.	varroas récupérés dans l'échantillon après 24 h en présence d'Apistan®	varroas récupérés grâce à un lavage à l'alcool subséquent
294	9	4	0
473	2	0	0
276	55	0	0
474	60	3	0
545	23	4	0
331	9	0	0
627	36	4	1
362	16	1	0
393	19	0	1
855	135	4	0
232	13	0	0
068	197	5	0
852	40	5	0
275	99	5	0
389	104	5	0
630	41	2	0
706	20	3	0
662	26	2	0
522	38	2	0

6 ANNEXE IV

Tableau synthèse pour les indicateurs de performance des lignées 2002 évaluées en 2003

lignée	nb	MND	MNF	é. t. MNF	TRD	TRF	é. t. TRF	IR	é. t. IR	TM	JD (67 j)	pop fin est	rec rel	é. t. rec.	hyg	é. t. hyg	force	é. t. force
FL	8	0.70	124.80	100.81	0.58	1.67	1.28	-1.08	1.26	179.2	15.6	8736	0.97	0.27	0.73	0.18	8.13	3.98
MI	7	0.93	95.73	54.29	0.82	1.47	0.65	-0.65	0.61	102.7	19.8	6701	1.18	0.16	0.84	0.23	10.00	4.32
CH	7	0.82	77.22	65.37	0.53	1.04	0.83	-0.50	0.96	94.3	19.4	5405	1.03	0.27	0.86	0.13	8.71	3.30
RR	8	1.14	83.28	59.25	0.97	1.39	0.79	-0.42	0.88	73.2	19.7	5830	1.18	0.30	0.86	0.21	10.63	5.18
HI	7	1.16	82.90	50.32	0.85	1.10	0.57	-0.25	0.75	71.6	20.9	5803	1.17	0.27	0.73	0.19	9.43	5.29
HU	8	0.88	71.96	51.21	0.88	1.07	0.53	-0.19	0.41	82.1	30.0	5037	0.97	0.28	0.86	0.17	8.50	4.47
PI	10	1.29	61.08	31.37	0.81	0.90	0.40	-0.09	0.65	47.2	27.1	4275	1.24	0.38	0.80	0.21	10.50	3.72
OH	6	1.74	67.37	47.99	1.32	1.29	1.28	0.03	0.50	38.7	27.0	4716	1.05	0.18	0.70	0.30	9.50	4.14
ZU	9	0.81	42.86	24.04	0.72	0.66	0.35	0.06	0.55	52.7	27.1	3000	0.95	0.32	0.91	0.08	9.22	4.49
KH	11	1.13	49.91	26.59	0.87	0.79	0.49	0.09	0.65	44.3	21.4	3494	1.07	0.17	0.82	0.23	10.27	4.15
H2	7	1.43	71.87	55.58	1.06	0.97	0.71	0.09	1.08	50.2	21.8	5031	0.85	0.19	0.81	0.16	8.29	4.82
RA	9	0.99	33.39	19.75	0.73	0.57	0.28	0.16	0.20	33.6	28.0	2337	0.86	0.31	0.90	0.18	7.44	2.65
IX	7	1.41	40.69	15.25	0.85	0.68	0.18	0.18	0.72	28.8	27.0	2848	1.12	0.11	0.94	0.08	7.43	3.55
AM	9	1.72	56.58	29.35	1.08	0.77	0.34	0.31	0.87	32.9	21.6	3961	0.75	0.33	0.74	0.15	7.00	3.12
LU	10	1.70	43.25	24.58	1.08	0.72	0.55	0.36	0.45	25.5	29.4	3028	0.81	0.29	0.88	0.16	10.20	3.12
moy.	124	1.21	65.4	50.9			0.69		0.82	54	21.5	4578		0.3	0.83	0.19	9.03	3.98

MND	mortalité naturelle du début	TRF	taux relatif d'infestation à la fin	JD	jours requis pour que la MN double
MNF	mortalité naturelle à la fin	IR	indice de résistance (TRD - TRF)	REC REL	récolte relative (récolte ruche / moyenne rucher)
TRD	taux relatif d'infestation au début	TM	taux de multiplication (MNF / MND)	HYG	comportement hygiénique (% de cellules nettoyées)
é. t.	écart type				

7 ANNEXE V

Progression de la mortalité naturelle selon les lignées (lignées 2002 évaluées en 2003)

LIGNÉE	n	15-mai	é. t.15 mai	19-juin	é.t. 19 juin	04-juil	é. t. 4 juill	15-juil	é. t. 15 juill	12-août	é. t. 12 août	09-sept	é. t. 9 sept
FL	8	**0.70**	0.61	**4.48**	2.04	**9.50**	6.02	**14.43**	10.01	**30.41**	18.89	**124.80**	100.81
MI	7	**0.93**	0.86	**6.24**	4.56	**11.75**	9.10	**12.49**	10.51	**28.56**	11.10	**95.73**	54.29
CH	7	**0.82**	1.06	**2.40**	1.86	**7.39**	8.32	**4.71**	5.14	**14.82**	12.92	**77.22**	65.37
RR	8	**1.14**	0.61	**8.09**	7.13	**9.34**	8.62	**10.33**	11.26	**28.94**	25.78	**83.28**	59.25
HI	7	**1.16**	0.96	**7.23**	5.34	**12.86**	11.92	**13.80**	9.50	**46.77**	35.64	**82.90**	50.32
HU	8	**0.88**	0.69	**13.30**	20.31	**24.69**	37.20	**19.45**	28.98	**57.46**	82.30	**71.96**	51.21
PI	10	**1.29**	0.86	**5.48**	3.08	**12.48**	9.03	**14.53**	9.87	**20.12**	14.83	**61.08**	31.37
OH	6	**1.74**	1.67	**6.87**	5.92	**13.21**	6.62	**11.60**	11.85	**30.77**	19.07	**67.37**	47.99
ZU	9	**0.81**	0.66	**4.54**	3.88	**8.75**	7.68	**8.80**	5.25	**13.64**	11.13	**42.86**	24.04
KH	11	**1.13**	0.86	**5.14**	2.91	**8.32**	5.96	**11.44**	6.90	**23.08**	17.85	**49.91**	26.59
H2	7	**1.43**	1.33	**6.49**	6.32	**12.61**	9.67	**13.31**	13.49	**33.31**	45.44	**71.87**	55.58
RA	9	**0.99**	0.74	**8.15**	7.45	**7.64**	5.55	**9.42**	4.15	**6.54**	3.04	**33.39**	19.75
IX	7	**1.41**	1.76	**5.83**	3.61	**7.54**	5.36	**9.20**	7.94	**18.36**	9.84	**40.69**	15.25
AM	9	**1.72**	1.59	**3.95**	2.80	**9.42**	7.58	**12.92**	10.92	**23.33**	15.28	**56.58**	29.35
LU	10	**1.70**	1.40	**5.00**	5.55	**10.85**	7.92	**8.58**	7.65	**12.12**	6.28	**43.25**	24.58
moyenne	124	**1.21**	1.08	**6.17**	6.9	**11.02**	12.13	**11.73**	11.28	**25.65**	29.96	**65.40**	50.09