

COMPTE RENDU

Essai comparatif d'emploi d'acide formique contre *Varroa destructor*

Protocole commun inter-ADA 2012

Rédaction :

Alexandre Dangleant

Coordination :

Julien Vallon

Mai 2014

REMERCIEMENTS

L'ITSAP-Institut de l'abeille tient à remercier les structures régionales de développement apicole ayant participé aux essais coordonnés :



SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION.....	7
	A. Contexte.....	7
	B. Objectifs.....	7
II.	MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	8
	A. Matériels.....	8
	1. Description des traitements.....	8
	2. Choix des colonies.....	11
	B. Suivi des varroas phorétiques.....	11
	1. Plan d'échantillonnage.....	11
	2. Évaluation de l'efficacité des traitements.....	11
	C. Suivi des varroas au sein du couvain operculé.....	11
	1. Plan d'échantillonnage.....	11
	2. Évaluation de la mortalité sous opercule.....	12
	D. Paramètres pouvant influencer l'impact des traitements.....	12
	1. Suivi de la température.....	12
	2. Suivi du poids des ruches.....	13
	3. Suivi de la surface de couvain des colonies.....	13
	4. Suivi des arrêts de ponte.....	13
	5. Suivi des pertes hivernales.....	13
	E. Méthode.....	13
	1. Remarques sur les plans d'échantillonnage.....	13
	2. Intérêt de la modélisation.....	13
III.	RÉSULTATS.....	14
	A. Homogénéité des lots.....	14
	1. Surface de couvain à l'état initial.....	14
	2. Température.....	15
	3. Infestation par site.....	15
	B. Effet des traitements sur Varroa destructor.....	17
	1. Efficacité des traitements.....	17
	2. Analyse des varroas résiduels.....	19
	3. Distribution des chutes de varroas au cours du temps.....	20
	4. Mortalité des varroas sous opercule.....	22
	C. Recherche de liens entre efficacité et covariables.....	22
	1. Analyse des liens entre infestation et efficacité.....	22
	2. Lien entre efficacité et surface de couvain à JO.....	24
	3. Modélisation linéaire généralisée.....	24
	D. Effet des traitements sur les colonies.....	25
	1. Variation du poids des ruches.....	25
	2. Variation de la surface de couvain.....	26
	3. Dysfonctionnements des colonies.....	26

IV.	BILAN ET DISCUSSION	28
A.	Bilan par modalité d'application d'acide formique.....	28
1.	Diffuseurs FAM®	28
2.	Languettes MAQS®	28
3.	Application par plateau et bouteille.....	28
B.	Paramètres conditionnant l'efficacité.....	29
1.	Effet de l'infestation	29
2.	Effet de la surface de couvain	29
3.	Effets de la température	29
V.	CONCLUSION.....	31

ANNEXES	32	
I.	Calendrier des interventions.....	32
II.	Méthodologie de la modélisation	33
III.	Résultats détaillés de la modélisation	35
IV.	Profils thermiques des régions	37
V.	Détail des prospections de couvain	39
VI.	Impact des traitements sur les colonies	39

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I.	Nombre de colonies* sur lequel repose les analyses relatives au suivi des varroas phorétiques.	11
Tableau II.	Nombre de colonies* sur lequel repose les analyses relatives au suivi des varroas sous opercules de couvain.....	12
Tableau III.	Nombre de colonies pourvues d'un enregistreur thermique.	12
Tableau IV.	Infestation moyenne par site et par traitement.	16
Tableau V.	Intervalle de confiance à 95 % des moyennes de chute de Varroa et d'efficacité des traitements.....	17
Tableau VI.	Efficacité moyenne observée par traitement et par site.....	17
Tableau VII.	Pourcentage des ruches obtenant une efficacité comprise dans les intervalles définis en ligne.....	19
Tableau VIII.	Moyennes de varroas résiduels par site et type de traitement.	20
Tableau IX.	Détails du nombre de colonies n'ayant connu aucune anomalie au cours de l'expérimentation.	27
Tableau X.	Classes de températures et apparition de cellules royales.....	27

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1.	Surface du couvain à J0 regroupées par site et par traitement.....	14
Figure 2.	Profil thermique obtenu sur l'ADAPI.....	15
Figure 3.	Niveau d'infestation par site et par type de traitement.	16
Figure 4.	Efficacité de chaque traitement en fonction des sites (en %).	18
Figure 5.	Varroas résiduels par site et traitement.	19
Figure 6.	Évolution de l'efficacité au cours des différents comptages pour le traitement Apilife Var®.	20
Figure 7.	Évolution de l'efficacité au cours des différents comptages pour le traitement FAM®.....	21
Figure 8.	Évolution de l'efficacité au cours des différents comptages temps pour le traitement MAQS®.	21
Figure 9.	Pourcentage de varroas morts et vivants observé sous opercule par traitement.	22
Figure 10.	Efficacité en fonction de l'infestation pour les traitements Apilife Var®, FAM® et MAQS®.	23
Figure 11.	Graphique de l'efficacité dans l'espace des chutes pendant la période de test du MAQS® (en ordonnée) et de l'infestation (en abscisse).	23
Figure 12.	Variation de poids entre la mise en place et la désinstallation des ruchers par site et par traitement.	25
Figure 13.	Variation de la surface de couvain (en cm ²) entre J0 et J14 détaillée par site et traitement.....	26

I. INTRODUCTION

A. Contexte

Ce compte rendu d'étude s'inscrit dans la coordination par l'ITSAP-Institut de l'abeille des expérimentations mises en place par les Associations régionales de développement de l'apiculture (ADA). Dans un contexte de recherche d'alternatives aux traitements vétérinaires classiquement employés contre *Varroa destructor*, le recours à l'acide formique est un sujet d'expérimentation largement partagé dans le réseau de développement apicole. Cet acide peut en effet être un traitement alternatif à celui à base de thymol pour la production de miel sous le cahier des charges de l'Agriculture Biologique ou bien aux acaricides en général pour les modes de productions conventionnels. S'il est connu depuis longtemps que cette substance représente une solution efficace dans la lutte contre *Varroa destructor*, de nombreux protocoles d'emploi ont été développés et les modalités d'utilisation (voie d'application, concentration de la solution d'acide formique, quantité de solution utilisée, nombre et fréquence des applications...) sont très variables. En conséquence, des questions demeurent quant à l'efficacité et à l'impact sur les colonies de ces méthodes, ainsi que vis-à-vis des paramètres pouvant influencer leur efficacité.

En 2012, les ADA des régions Rhône-Alpes (ADARA), PACA (ADAPI), Corse (Syndicat AOC miel Corse-Mele di Corsica), Languedoc-Roussillon (ADAPRO LR), Midi-Pyrénées (ADAM), Aquitaine (ADAAQ) et de Bretagne (GIE Élevages de Bretagne) ont participé à cet essai sous protocole commun. Le protocole a été établi en concertation avec ces associations, en particulier à partir des résultats d'expérimentations précédentes pour le choix des modalités de traitement. Ainsi, selon leur intérêt pour certaines modalités d'emploi mais aussi selon leurs moyens disponibles pour réaliser l'étude, les ADA ont intégré tout ou partie du protocole choisi.

B. Objectifs

L'objectif principal de cette étude a été de comparer l'efficacité de différents modes d'administration de l'acide formique sur la mortalité de *Varroa destructor*, en considérant le traitement thymol Apilife Var® comme la modalité de référence. Cette efficacité a été évaluée sur les varroas phorétiques (présents sur les abeilles adultes) mais également sur les femelles matures présentes au sein du couvain operculé.

Outre cet aspect, l'étude ici détaillée s'est intéressée également aux paramètres pouvant expliquer ou moduler l'efficacité de ces traitements : la surface de couvain mesurée avant les premières applications d'acide formique ou encore la température.

Enfin, l'acide formique étant une substance connue pour être préjudiciable aux reines, de nombreuses observations ont été faites pour évaluer l'impact des traitements testés sur les colonies.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

A. Matériels

1. Description des traitements

Mite Away Quick Strips® (MAQS®) :

Il s'agit d'un gel alimentaire solidifié en bande (ou « strip ») comprenant une solution d'acide formique à 46,7 %. Deux strips par colonie (Dadant ou Langstroth) ont été placés perpendiculairement aux cadres sur les têtes de cadre et entourant le couvain comme illustré sur la photographie 1. Nous avons placé un couvre-cadres muni d'un encadrement qui laisse un espace de quelques millimètres au-dessus des têtes de cadre. Le traitement a duré sept jours après lesquels les strips ont été retirés. La précaution a été prise de vérifier que les entrées des ruches soient supérieures à 1,3 cm de hauteur et libres sur toute la largeur.

Il est à noter que dans les ruchers suivis par l'ADARA et l'ADAPRO LR, l'application de cette spécialité commerciale a dérogé aux préconisations d'emploi. En effet, en l'absence de démarcation visible entre les lanières qui étaient collées entre elles, les strips ont été découpés en deux dans le sens de la longueur, puis laissés en place avec l'emballage pendant quatre jours avant retrait du plastique, et ce sur l'ensemble des colonies. En conséquence, la diffusion de l'acide formique a sans nul doute été fortement réduite sur cette période et l'interprétation des résultats tiendra compte de cet écart au protocole. D'autre part, la couleur et la consistance inhabituelle du gel lors de la réception de ce produit nous amènent à penser que d'éventuels problèmes de conservation ont eu lieu lors de l'acheminement de ce produit jusqu'à l'ITSAP-Institut de l'abeille.

Photographie 1. Positionnement de Mite Away Quick Strips®.



Diffuseur FAM® :

Ce diffuseur se décompose en trois parties : le couvercle, l'éponge en tissu sur laquelle sont imprégnés 130 ml de solution d'acide formique à 70 %, et enfin le couvercle rotatif qui permet de réguler la diffusion en fonction des températures attendues sur la période de traitement (Photographie 2).

Deux applications, séparées de sept jours, sans nourrissage intermédiaire, ont été réalisées au lieu des deux traitements (août et septembre) séparés d'un nourrissage en août et septembre préconisés par le fabricant. Cette différence d'emploi a été nécessaire afin de procéder à la comparaison de traitements appliqués à une même période de l'année et sur des durées similaires. L'ouverture du diffuseur a été décidée à chaque application selon les températures locales maximales attendues. Le dispositif a été placé sous un nourrisseur retourné et surélevé de 1 cm par deux tasseaux de bois de façon à ne pas obstruer les ouvertures orientées vers le bas. Ces diffuseurs ont été retirés au moment du traitement de contrôle. Les traitements ont été réalisés le matin lorsque les températures sont encore fraîches afin de limiter les effets non intentionnels sur les reines. L'ouverture des trous de vol a respecté une largeur de 15 cm au moins.

Photographie 2. Positionnement du diffuseur FAM®.



Diffuseur « bouteille » :

Une bouteille en verre fumé de 250 ml contenant 200 ml de solution d'acide formique à 85 % et équipée d'un goutte à goutte a été retournée au contact d'une éponge essuie-tout (12 x 13, 5 cm) et placée dans une assiette plastique. La bouteille a été maintenue en équilibre par le goulot grâce à une bague en bois. Ce dispositif a été placé sur les têtes de cadre dans une hausse vide (Photographie 3). La durée du traitement a été d'environ 10 jours selon les conditions climatiques.

Photographie 3. Positionnement du diffuseur « Bouteille ».



Traitement « Plateau » :

Le traitement a consisté en 3 applications, à quatre jours d'intervalle, de 30 ml pour les ruches Dadant et de 24 ml pour les ruches Langstroth d'une solution d'acide formique à 65 % déposée sur une double feuille d'essuie-tout placée sur un plateau-tiroir conçu à cet effet et placé sous un plancher grillagé afin d'interdire le nettoyage des varroas par les ouvrières (Photographie 4). Les applications ont été réalisées le soir après 18 h.

Photographie 4. Réalisation du traitement « Plateau ».



Traitement Apilife Var® :

Une tablette d'Apilife Var® a été découpée en 4 morceaux qui ont été placés sur les têtes de cadre en entourant le couvain (Photographie 5). L'opération a été répétée à 3 reprises à une semaine d'intervalle.

Photographie 5. Positionnement du traitement Apilife Var®.



Traitement de contrôle (non illustré) :

Des cartons ont été imprégnés par une solution composée à 7 % de Tactic® et à 93 % d'huile de tournesol. Au terme d'une période de latence variable selon la durée du traitement testé (de une à trois semaines), deux applications de deux cartons par ruche ont été réalisées à une semaine d'intervalle.

2. Choix des colonies

Afin de constituer des lots homogènes et exclure tout biais expérimental, certaines précautions ont été prises quant au choix des colonies utilisées. Ainsi, il a été décidé de ne pas prendre d'essais de l'année, l'infestation en varroas étant généralement plus faible dans ces colonies. Les colonies choisies étaient en bon état sanitaire, présentaient de fortes populations en ouvrières, et accueillait une reine ayant une dynamique de ponte satisfaisante.

B. Suivi des varroas phorétiques

1. Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage concernant le suivi de la mortalité des varroas phorétiques suite aux traitements appliqués est détaillé dans le Tableau I.

Tableau I. Nombre de colonies* sur lequel reposent les analyses relatives au suivi des varroas phorétiques.

	Ruche	Apilife Var®	MAQS®	FAM®	Bouteille	Plateau	Total
ADARA	Dadant et Langstroth	10	9	10		9	38
ADAPRO LR	Dadant 10	8	8	8	8		32
AOC miel de Corse	Langstroth	7	8	8		8	31
ADAM	Dadant 10	6	7		7		20
ADAPI	Langstroth	8	8	8			24
ADAAQ	Langstroth		8	6			14
GIE Élevages de Bretagne	Divers		15	14			29
Total		39	63	54	15	17	188

* Les nombres de colonies suivies affichés ici ne prennent pas en compte les pertes de colonies entre le premier et le dernier comptage de varroas.

2. Évaluation de l'efficacité des traitements

Le principe de cette évaluation est le suivant : les varroas morts au sein de la ruche chutent sur un lange graissé, placé dans un compartiment grillagé, installé dans les ruches afin d'éviter tout nettoyage par les ouvrières. Le dénombrement des acariens a été effectué sur le lange par l'opérateur de terrain, et ce, de façon hebdomadaire depuis le début de l'expérimentation (J0) jusqu'à son terme (J49). Seules les femelles matures ont été comptées (individus de couleur marrons). Par la suite, le terme « infestation » sera utilisé pour désigner la totalité des chutes comptées au long de l'expérimentation (de J0 à J49). Le terme « varroas résiduels » désignera quant à lui les varroas morts lors de la période de contrôle. Enfin, le terme « efficacité » désigne par la suite le rapport entre les chutes de varroas entre J0 et J28 (période d'application des traitements testés + période de latence) et l'infestation.

C. Suivi des varroas au sein du couvain operculé

1. Plan d'échantillonnage

Généralement, deux colonies choisies aléatoirement par traitement testé et par ADA ont fait l'objet de ce suivi. Un échantillon de 100 cellules de couvain operculé, contenant si possible des nymphes aux yeux noirs, a été prélevé sur chacune de ces ruches. Toutes les ADA n'ayant pu réaliser ce travail de manière égale, le détail des colonies suivies de cette manière figure ci-dessous (Tableau II).

Tableau II. Nombre de colonies* sur lequel reposent les analyses relatives au suivi des varroas sous opercules de couvain.

	Apillife Var®	MAQS®	FAM®	Bouteille	Plateau	Total
ADARA	2	2	2	0	2	8
ADAPRO LR	0	8	7	0	0	15
AOC miel de Corse	1	2	2	0	2	7
ADAM	2	2	0	2	0	6
ADAPI	2	2	2	0	0	6
ADAAQ	0	2	2	0	0	4
Total	7	18	15	2	4	46

* Les nombres de colonies suivies affichés ici ne prennent pas en compte les pertes de colonies entre le premier et le dernier comptage de varroas.

2. Évaluation de la mortalité sous opercule

Chaque échantillon a été placé lors du prélèvement dans un sachet de congélation zippé puis introduit dans une glacière sans bloc de froid. De retour du terrain, ces échantillons ont été conservés en étuve ou en couveuse jusqu'à la désoperculation de ces cellules de couvain afin d'évaluer le nombre de varroas femelles matures vivantes et mortes dans les 24h qui ont suivi le prélèvement. Les cellules ont été désoperculées jusqu'à obtention de 20 cellules infestées, le nombre total de cellules observées ayant été noté. L'efficacité des traitements sous couvain correspond au ratio entre le nombre de varroas morts et le total de varroas comptés.

D. Paramètres pouvant influencer l'impact des traitements

1. Suivi de la température

68 enregistreurs thermiques, cadencés sur une fréquence de relevé horaire, ont été placés à l'intérieur de la moitié des ruches en suivi à JO. Ces enregistreurs ont été positionnés au niveau des dispositifs d'application ou de diffusion d'acide formique. Le détail des ruches suivies par ADA et par traitement figure ci-dessous.

Tableau III. Nombre de colonies pourvues d'un enregistreur thermique.

	Apillife Var®	MAQS®	FAM®	Bouteille	Plateau	Total
ADARA	1	3	4	0	2	10
ADAPRO LR	4	5	5	5	0	19
AOC miel de Corse	0	4	4	0	4	12
ADAM	0	4	0	4	0	8
ADAPI	4	4	3	0	0	11
ADAAQ	0	4	4	0	0	8
Total	9	24	20	9	6	68

* Les nombres de colonies suivies affichés ici ne prennent pas en compte les pertes de colonies entre le premier et le dernier comptage de varroas.

De plus, 6 enregistreurs disposés à l'extérieur des ruches, à l'ombre, à 1 m de hauteur au-dessus d'un couvert végétal, ont été utilisés pour relever les températures extérieures. Ceci n'a cependant pas été possible en Bretagne pour des raisons de moyens car les colonies suivies ont été réparties sur trois ruchers différents.

2. Suivi du poids des ruches

Les pesées ont été réalisées lors de la mise en place du rucher (J0) et lors du démontage (J49) à l'aide du matériel à disposition des opérateurs (peson sur levier ou pèse-personne). Aucun ajout ou retrait d'équipement sur les ruches n'a été effectué entre les deux pesées. Ce paramètre n'a pas été mesuré en Bretagne.

3. Suivi de la surface de couvain des colonies

Les surfaces de couvain ont été estimées à partir de la somme des produits entre la longueur et la largeur du couvain présent sur chaque cadre à J0 et à J14. Ce paramètre n'a pas été mesuré en Bretagne.

4. Suivi des arrêts de ponte

La présence d'œufs, de couvain ouvert, de couvain operculé ainsi que de cellules royales a été observée au 7^e et au 14^e jour de l'expérimentation afin de relever d'éventuels dysfonctionnements dans la dynamique des colonies. Ces phénomènes n'ont pas été relevés en Bretagne et seules la présence de cellules royales et l'absence d'œuf ont été notées sur les colonies de l'ADARA.

5. Suivi des pertes hivernales

Les pertes de colonies en hiver ont été notées afin de pouvoir procéder à la comparaison entre traitements. Ce paramètre n'a pas été relevé en Bretagne, en PACA et dans la région Rhône-Alpes (Cf. calendrier des interventions en AErreur ! Source du renvoi introuvable., page 32).

E. Méthode

1. Remarques sur les plans d'échantillonnage

L'importante hétérogénéité des plans d'échantillonnage présentés dans les tableaux I à III représente une limite aux méthodes statistiques applicables et impose une attention particulière lors de la confrontation des résultats par site et par traitement afin de ne comparer que ce qui est comparable. Un soin particulier a été appliqué sur ce point et il sera régulièrement précisé sur quelles données portent tels ou tels résultats. D'ores et déjà, les traitements « bouteille » et « plateau » seront exclus des tests statistiques paramétriques et de la modélisation en raison de leur suivi partiel sur les sites et de leurs faibles effectifs (c'est-à-dire moins de 30 colonies par type de traitement).

Les tests statistiques utilisés pour mener à bien cette étude sont : le test d'indépendance du χ^2 (non-paramétrique), le test d'égalité des variances (ou test de Fisher) et le test de Student (ou de Welch qui se substitue au test de Student lorsque les variances des séries comparées ne sont pas homogènes).

2. Intérêt de la modélisation

Les détails de la modélisation linéaire généralisée figurent en Annexe II, page p33. Seul l'intérêt de cette méthode sera présenté ici.

Faire un modèle revient à dire qu'une variable mesurée, ici l'efficacité des traitements testés, est la résultante d'un certain nombre de paramètres : le traitement employé, la région où ce traitement a été testé, la température lors de l'application, ou encore la surface de couvain au moment du traitement. Si chacun de ces paramètres peut facilement être confronté à l'efficacité un à un, la modélisation linéaire généralisée permet de les intégrer ensemble dans une même analyse. Il devient alors possible de tester les interactions entre ces paramètres, par exemple en posant l'hypothèse que les températures vont avoir un impact sur l'efficacité en fonction du traitement considéré. Cette méthode offre donc un cadre méthodologique robuste qui permet de répondre aux questions pragmatiques à partir desquelles les paramètres à mesurer ont été choisis, et c'est pourquoi elle a été mise en œuvre dans cette étude.

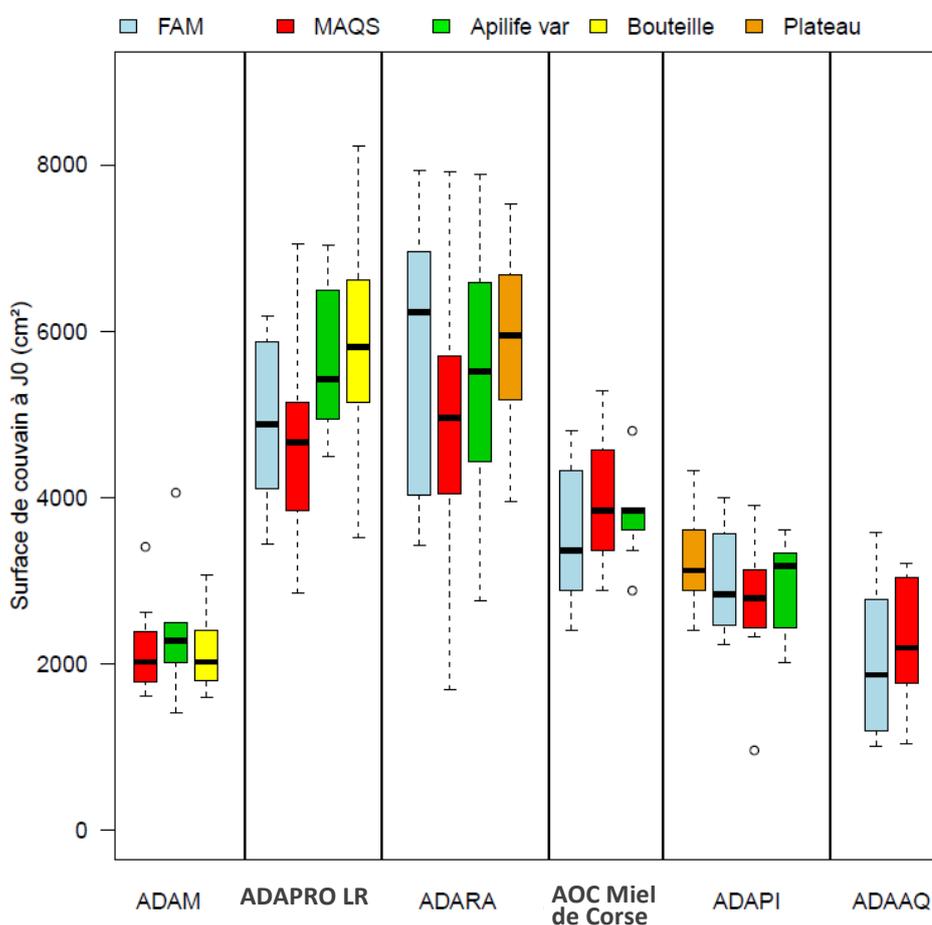
III. RÉSULTATS

A. Homogénéité des lots

1. Surface de couvain à l'état initial

Avant de présenter les résultats issus de l'analyse des données ainsi que le questionnaire dont ils ont été l'objet, il est nécessaire au préalable de comparer les éventuelles spécificités locales qui caractérisent les colonies sur lesquelles est basée cette étude.

Figure 1. Surface du couvain à J0 regroupées par site et par traitement.

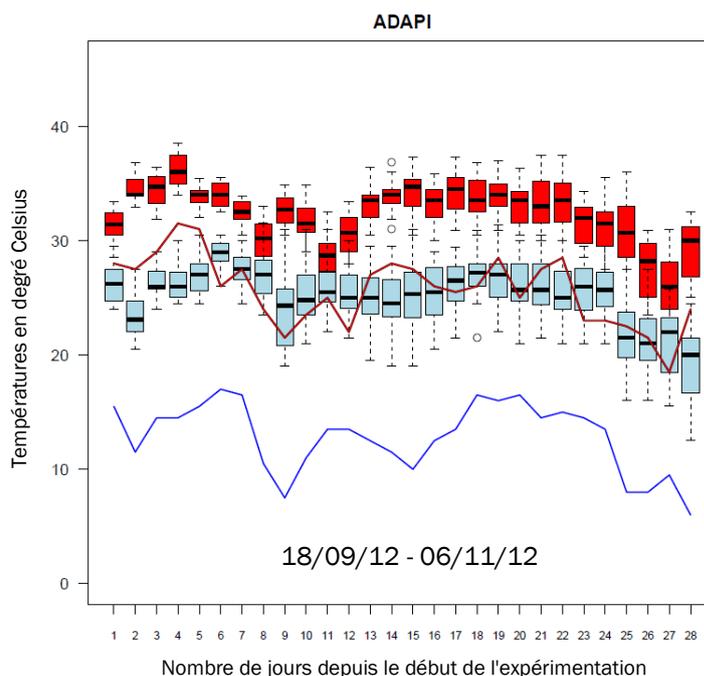


Le diagramme de la Figure 1 présente les surfaces de couvain à J0 estimées sur chacune des colonies et regroupées par traitement et par site. Le but de cette première visualisation est de pouvoir juger de l'homogénéité des lots conditionnant les analyses qui suivent. Il apparaît très nettement que ces surfaces sont globalement homogènes au sein de chaque ADA, les variabilités et les médianes étant le plus souvent comparables au sein des lots d'un même rucher mais fortement différentes entre les sites. Il existe en effet des différences importantes allant du simple au triple notamment au regard de l'ADARA et l'ADAPRO LR pour lesquelles ces surfaces sont supérieures et plus variables en comparaison des autres sites.

2. Température

Les températures enregistrées à l'extérieur et à l'intérieur d'une partie des ruches utilisées lors de cette étude ont servi au calcul de différents paramètres comme l'amplitude et les extrêmes thermiques, ainsi que les moyennes journalières. Afin de fournir une vision complète des profils thermiques de chaque site, une série de graphiques présentant les températures extrêmes journalières (min et max) à l'intérieur des ruches (sous forme de boîtes à moustache) et à l'extérieur des ruches (sous forme de courbes) est présentée et commentée en Annexe V.1. Seule la démarche menée pour l'exploitation de ces températures est présentée ici, le profil thermique de l'ADAPI a été conservé pour illustrer nos propos (Figure 2).

Figure 2. Profil thermique obtenu sur l'ADAPI.



Boîtes à moustache : températures à l'intérieur des ruches

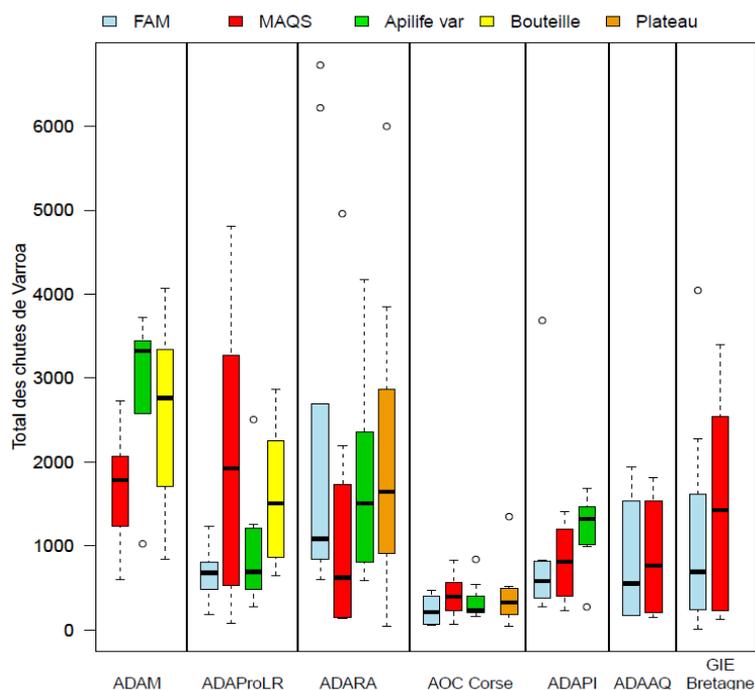
Courbes : températures minimales (bleu) et maximales (extérieures) journalières extérieures

L'étude de ces profils thermiques permet de comprendre à quel point une température donnée sur un rucher peut se traduire de manière différente au sein des ruches. Cela soulève des interrogations quant à la pertinence des préconisations d'emploi des spécialités commerciales faites par les fabricants, et incite à approfondir l'analyse des liens entre la température et les effets d'un traitement donné, que ce soit sur *Varroa destructor* ou sur *Apis mellifera*. Dans le but d'étudier les liens éventuels entre l'efficacité d'un traitement et la température au sein de la ruche, un indice (nommé « MDS ») a été créé pour prendre en compte l'intensité des dépassements de températures seuils issues des préconisations des fabricants, à savoir 10°C et 30°C. Cet indice correspond à la moyenne des écarts entre ces seuils et les températures enregistrées au sein des ruches sur la période d'application du traitement considéré. Cet indice est intégré dans la modélisation et les résultats de cette analyse sont donc présentés dans la partie III.C.3.

3. Infestation par site

Toujours afin d'évaluer les similitudes entre sites, il est impératif de comparer leur infestation, c'est-à-dire le total des chutes de varroas obtenues par colonie du début à la fin de l'étude. En effet, cette infestation permet de relativiser l'efficacité obtenue pour un traitement sur une ruche par le nombre de varroas disponibles et résiduels.

Figure 3. Niveau d'infestation par site et par type de traitement.



Tous traitements confondus, il existe un effet région important sur la mortalité totale des varroas (Figure 3). Si les ruches de Corse présentent les niveaux d'infestation les plus faibles du jeu de données (avec une moyenne de l'ordre de 350 varroas par ruche au total), les colonies de l'ADAM et de l'ADARA semblent en revanche être les plus infestées, avec respectivement 2 373 et 1 931 varroas en infestation moyenne. Ces niveaux d'infestation sont inférieurs à ceux observés en fin de saison lors de précédentes expérimentations réalisées durant 4 ans. À titre d'exemple, les infestations moyennes constatées dans la région PACA et en Corse avoisinent plus souvent 2 000 varroas par colonie, tandis qu'en région Rhône-Alpes il n'est pas rare d'obtenir 4 000 varroas par colonie. C'est d'ailleurs dans cette région que l'infestation maximale a été obtenue (soit 6 729 varroas).

La variabilité de ces infestations semble comparable d'un traitement à l'autre au sein de chaque région. Des écarts importants existent tout de même parfois entre les colonies attribuées aux différentes modalités de traitement, surtout en ce qui concerne la variabilité très importante du lot MAQS® en Languedoc-Roussillon et, dans une moindre mesure, en Bretagne et en PACA. Enfin, la Provence et la Corse se démarquent par une faible variabilité de l'infestation au sein des colonies. Pour compléter ce diagramme, les moyennes d'infestation par modalité de traitement selon le site expérimental sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV. Infestation moyenne par site et par traitement.

	Apilife Var®	FAM®	MAQS®	Bouteille	Plateau	Moyenne
ADAM	2 902		1 676	2 541		2 373
ADAPRO LR	946	670	2 044	1 594		1 313
ADARA	1 883	2 341	1 339		2 160	1 931
AOC miel de Corse	349	236	410		425	355
ADAPI	1 196	938	810			981
ADAAQ		8 212	872			847
GIE Élevages de Bretagne		1 062	1 493			1 277
Moyenne	1 455	1 011	1 235	2 067	1 292	

Si les infestations moyennes varient fortement d'un site à l'autre, ces fluctuations sont moins élevées entre les différentes modalités de traitement. En effet, les infestations moyennes calculées sur la totalité des colonies suivies pour les modalités FAM®, MAQS®, et Apilife Var® sont comparables puisque comprises entre 1 000 et 1 500 varroas environ. Dans le détail, les moyennes obtenues pour chaque traitement sur chaque site permettront d'étudier l'effet du niveau d'infestation sur l'efficacité de chaque traitement.

B. Effet des traitements sur *Varroa destructor*

1. Efficacité des traitements

Afin de procéder à la comparaison des efficacités obtenues pour chaque traitement, des intervalles de confiance à 95 % ont été calculés et regroupés dans le Tableau V. Aucun intervalle n'a pu être calculé pour les traitements « plateau » et « bouteille » en raison du nombre insuffisant de colonies suivies pour ces modalités.

Tableau V. Intervalles de confiance à 95 % des moyennes de chutes de varroas et d'efficacité des traitements.

	Infestation	Efficacité (%)	Varroas résiduels
Apilife Var®	1 432 ± 378	84 ± 5	257 ± 114
FAM®	1 073 ± 375	92 ± 3	76 ± 40
MAQS®	1 258 ± 297 (1 105 ± 279)*	79 ± 5 (88 ± 4)*	304 ± 167 (88 ± 39)*

*Résultats excluant l'ADARA et l'ADAPRO LR.

Les intervalles figurant dans le Tableau V indiquent que le MAQS® a donné les bornes d'efficacité les plus basses et la plus grande variabilité en termes de varroas résiduels. Le FAM® présente quant à lui, l'intervalle d'efficacité le plus élevé, résultat conforté par l'intervalle de varroas résiduels strictement inférieur à celui du traitement de référence, l'Apilife Var®. L'amplitude des intervalles de confiance relatifs au MAQS® suggère que des échecs de traitements ont été rencontrés, sans nul doute à l'ADARA et à l'ADAPRO LR. Une vision plus détaillée des efficacités moyennes permet d'investir cette question (Tableau VI).

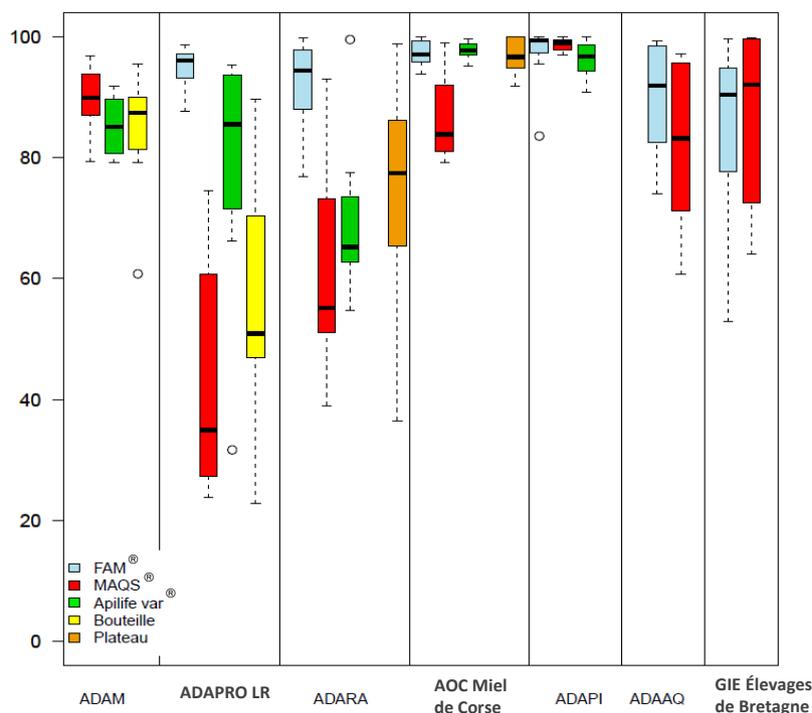
Tableau VI. Efficacité moyenne observée par traitement et par site.

	ADAM	ADAPro LR	ADARA	AOC miel de Corse	ADAPI	ADAAQ	GIE Élevages de Bretagne	Moyenne
Apilife Var®	85,3	78,6	69,0	97,8	96,3			85,4
FAM®		95,0	92,2	97,3	97,1	89,7	83,8	91,9
MAQS®	89,7	43,0	62,1	86,5	98,7	82,3	86,2	78,3
Bouteille	83,8	56,1						70,0
Plateau			74,2	96,9				81,2

Le Tableau VI confirme que les échecs de traitements évoqués dans le précédent paragraphe sont en grande partie dus aux colonies appartenant à l'ADARA et à l'ADAPRO LR. En effet, l'efficacité moyenne du traitement MAQS® recalculée sans prendre en compte ces sites est de 88 % et, de la même manière, celle de l'Apilife Var® devient 94 %. Seul le FAM® a une efficacité moyenne relativement stable à la suite du retrait de ces sites avec environ 91 %. Les résultats obtenus sur les colonies de l'ADARA et de l'ADAPRO LR concernant les défauts d'efficacité doivent être reliés à la mauvaise mise en œuvre du MAQS® sur ces sites. De plus, le constat général d'efficacité réduite (moyenne inférieure à 90 % sur tous les sites en dehors de l'ADAPI) doit être relativisé par un défaut de conservation de cette spécialité commerciale au cours de leur acheminement depuis le Canada. L'aspect anormal des strips a été relevé et communiqué au fournisseur dès réception, mais il était alors trop tard pour les échanger, les dates d'application des traitements ne pouvant être repoussées. Le fabricant a, depuis, mis en place une procédure dans l'objectif que de tels dysfonctionnements ne se reproduisent plus.

La visualisation la plus complète des efficacités consiste à représenter sous forme de boîtes à moustaches les résultats obtenus par site et par type de traitement (Figure 4).

Figure 4. Efficacité de chaque traitement en fonction des sites (en %).



Plusieurs informations importantes sont apportées par ce graphique synthétique. Tout d'abord, il apparaît que la variabilité de l'efficacité des traitements semble davantage liée aux sites d'expérimentation qu'aux modalités de traitement. En effet, les efficacités obtenues pour chaque modalité de traitement sont très différentes d'un site à l'autre, hormis le FAM® qui est visiblement plus constant. En conséquence, ces résultats seront commentés par groupe de sites sur lesquels une réponse comparable des colonies à chaque traitement a été trouvée.

Ainsi, l'ADAPI, l'ADAM et l'AOC Corse se distinguent par une réponse plus stable des colonies face aux différentes modalités testées. Dans le détail, à l'ADAPI, les trois traitements testés (Apilife Var®, FAM® et MAQS®) ont donné une efficacité supérieure à 95 % en moyenne, les applications d'acide formique présentant même une légère supériorité à l'Apilife Var®. À l'ADAM, le MAQS® présente une efficacité légèrement au-dessus du traitement de référence (89,7 % contre 85,3 %) et de la modalité d'application « bouteille » (83,8 %). Enfin, sur les ruches de l'AOC Corse, le MAQS® se trouve cette fois-ci un cran en-dessous en termes d'efficacité avec une moyenne de 86,5 % et des valeurs extrêmes allant de 79 % à 99 %, contre des moyennes avoisinant les 97 % pour les trois autres traitements.

À l'ADAPRO LR et l'ADARA, les efficacités par traitement sont très variables comparativement aux trois sites présentés dans le paragraphe précédent. Les défauts d'efficacité du MAQS® et, dans une moindre mesure, de l'Apilife Var® évoqués plus tôt se retrouvent donc ici. En revanche, l'application d'acide formique par diffuseurs FAM® obtenue sur le site de l'ADAPRO LR présente une gamme d'efficacité remarquable par sa valeur moyenne (95 %) et une faible amplitude en comparaison des trois autres traitements. Le même constat concernant cette moyenne peut être fait pour l'ADARA, avec toutefois une efficacité plus variable sur ce dernier site.

Enfin, à l'ADAAQ et au GIE Élevages de Bretagne, peu de distinctions entre FAM® et MAQS® apparaissent. En effet, les boîtes à moustaches relatives à ces traitements sont très proches. Bien que l'écart entre les médianes et les moyennes d'efficacité en Aquitaine soient en faveur du FAM®, la variabilité de ces résultats empêche de conclure avec certitude à une meilleure efficacité d'un traitement par rapport à l'autre sur ce site.

En résumé, le FAM® est souvent retrouvé en première place concernant l'efficacité, ce qui ressort particulièrement pour l'ADAPRO LR et l'ADARA. À l'opposé, le MAQS® est souvent caractérisé par une efficacité plus variable, tantôt insatisfaisante et tantôt proche de 100 %. L'Apilife Var®, quant à lui, offre une efficacité souvent inférieure au FAM®, validant l'intérêt de l'acide formique dans la lutte contre *V. destructor*.

L'interprétation des résultats obtenus pour les traitements « bouteille » et « plateau » par l'ADARA et l'ADAPRO LR pose problème. En effet, en raison de leur absence sur les autres sites, il n'est pas possible de savoir si les défauts d'efficacité constatés représentent des singularités propres à ces sites ou non. Nous pouvons uniquement observer qu'au vu des gammes d'efficacité obtenues avec les modalités « plateau » et « bouteille » (globalement de 23 % à 95 % environ pour les valeurs extrêmes), les échecs de traitement peuvent être importants.

Afin de compléter ces données et à titre indicatif, le Tableau VII ci-dessous présente le pourcentage de colonies sur lesquels l'efficacité est comprise entre différents seuils.

Tableau VII. Pourcentage des ruches obtenant une efficacité comprise dans les intervalles définis en ligne.

Seuils d'efficacité	Apilife Var®	FAM®	MAQS®	MAQS®*	Bouteille	Plateau
< 70 %	23	6	25	9	47	24
70 % à 80 %	10	7	19	20	13	12
80 % à 90 %	15	15	14	17	27	6
> 90 %	51	72	41	54	13	59

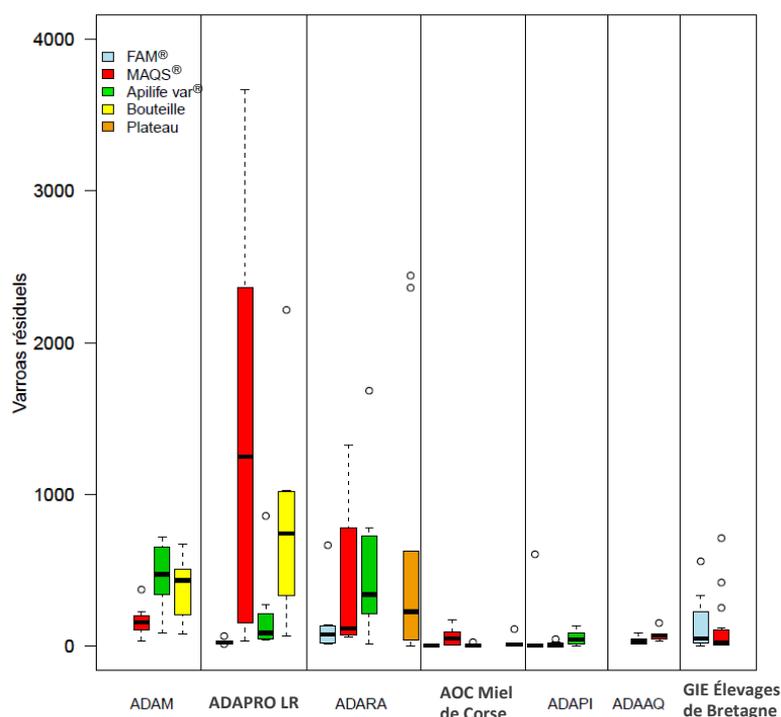
*Résultats excluant l'ADARA et l'ADAPRO LR.

FAM® présente une bonne régularité de son efficacité, supérieure à 80 % pour 87 % des colonies tous sites confondus, contre respectivement 67 % et 56 % pour l'Apilife Var® et le MAQS®. Toutefois, l'ADARA et l'ADAPRO LR pèsent énormément sur les résultats du MAQS®. En effet, lorsque ces sites sont exclus, 29 % des colonies donnent une efficacité inférieure à 80 % contre 44 % dans le cas contraire.

2. Analyse des varroas résiduels

Le dénombrement des varroas résiduels, paramètre crucial dans l'analyse des effets d'un traitement, est présenté par site et type de traitement.

Figure 5. Varroas résiduels par site et traitement.



Ce graphique confirme les efficacités élevées obtenues au syndicat AOC miel de Corse et à l'ADAPI. De même, les efficacités variables de l'Apilife Var® et du MAQS® pour l'ADARA et l'ADAPRO LR sont retrouvées ici, tout comme la confirmation de l'efficacité constante du FAM® au travers du faible nombre des varroas résiduels concomitant. En revanche, les efficacités obtenues à l'ADAAQ se traduisent ici par un nombre de varroas résiduels faible et peu variable, avec une moyenne de 35 pour le FAM® et 71 pour le MAQS®. Ceci plaide pour un succès de ces deux traitements dans cette région alors que l'efficacité ne permettait pas d'aboutir à cette conclusion. Ceci remet donc en cause la pertinence de l'efficacité et incite à approfondir l'étude des varroas résiduels. (Tableau VIII).

Tableau VIII. Moyennes de varroas résiduels par site et type de traitement.

Varroas résiduels	Apilife Var®	FAM®	MAQS®	Bouteille	Plateau
ADAM	456		169	373	
ADAPRO LR	199	28	1 405	808	
ADARA	522	128	427		716
AOC miel de Corse	7	6	60		21
ADAPI	53	79	12		
ADAAQ		37	71		
GIE Élevages de Bretagne		123	115		
Moyenne globale	257	76	304 (88*)	605	389

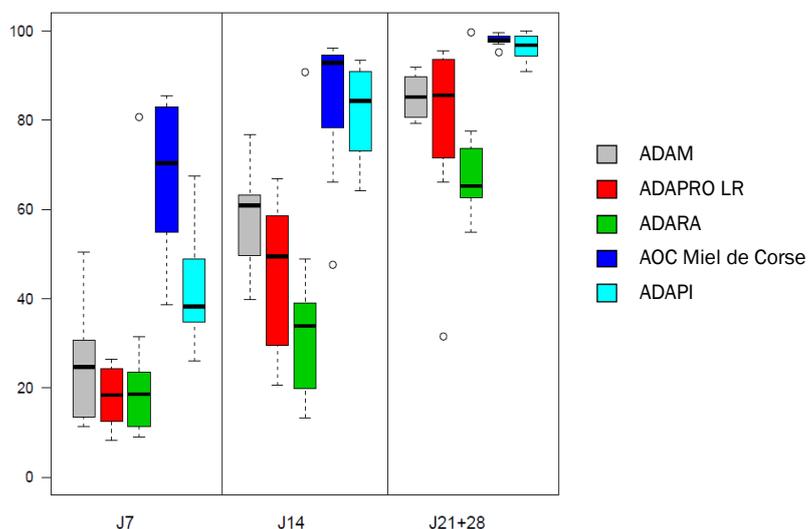
*Résultats excluant l'ADARA et l'ADAPRO LR.

Là encore, l'ADARA et l'ADAPRO LR ont un poids conséquent sur la moyenne globale des varroas résiduels obtenus pour le MAQS®. Les données de ce traitement sur ces sites ont donc été retirées pour les comparaisons des traitements. Ainsi, les moyennes de varroas résiduels ne montrent pas de différence significative entre FAM® et MAQS® ($p = 0,67$ test de Student bilatéral). En revanche, les varroas résiduels sont significativement plus nombreux à l'issue du traitement Apilife Var® par rapport aux traitements FAM® ($p=0,004$) et MAQS® ($p = 0,005$), validant la encore l'intérêt de l'acide formique par rapport au thymol dans la lutte contre *Varroa destructor*.

3. Distribution des chutes de varroas au cours du temps

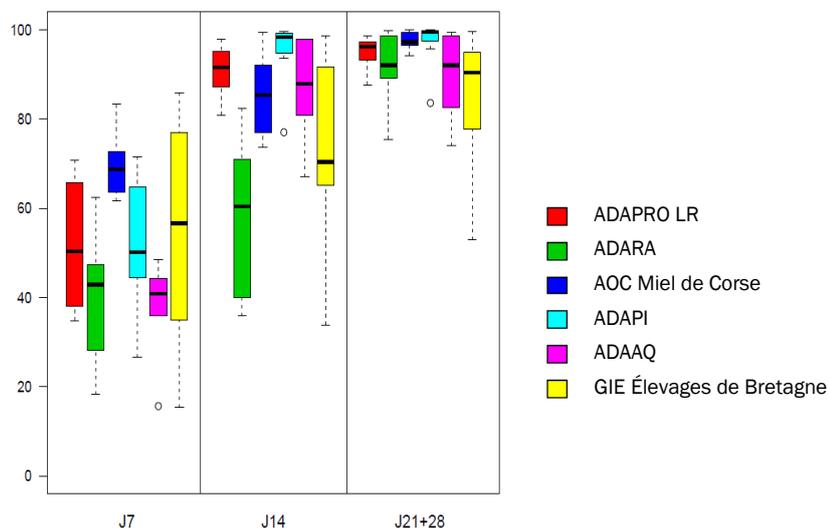
Les figures 6 à 8 présentent l'évolution de l'efficacité au cours du temps par site, chaque figure correspondant à un traitement. Pour mémoire, les deux premiers comptages de chutes de varroas (à J7 et J14) correspondent à la période de traitement. Les comptages de la période de latence (à J21 et J28) ont dû être sommés car certaines ADA n'ont pas réalisé le comptage de J21, en conséquence celui de J28 inclut donc deux semaines de chutes de varroas.

Figure 6. Évolution de l'efficacité au cours des différents comptages pour le traitement Apilife Var®.



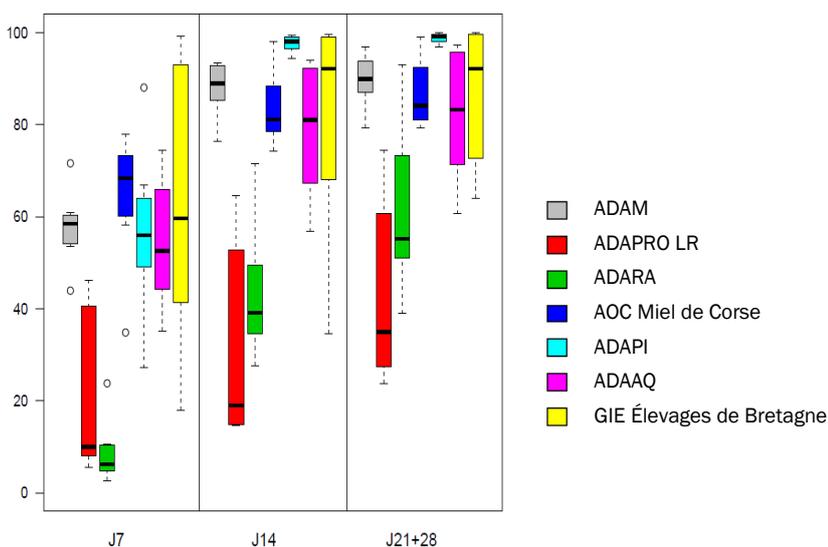
Dans le cas de l'Apilife Var® présenté ci-dessus, l'efficacité augmente régulièrement au long des comptages. L'application de ce traitement étant réalisée en trois temps (J0, J7 et J14), il n'est pas surprenant que son action soit étalée dans le temps. Cette durée de traitement permet à l'Apilife Var® de compenser son incapacité à toucher les varroas sous les opercules de couvain en agissant sur plusieurs générations.

Figure 7. Évolution de l'efficacité au cours des différents comptages pour le traitement FAM®.



L'efficacité du traitement FAM® atteint un palier à J14 (les applications de ce traitement étant réalisées à J0 et J7) à l'ADAProLR, l'ADAPI et l'ADAAQ. En revanche, pour le syndicat AOC miel de Corse, l'ADARA et le GIE Élevages de Bretagne, des chutes conséquentes sont dénombrées entre J14 et J28.

Figure 8. Évolution de l'efficacité au cours des différents comptages temps pour le traitement MAQS®.

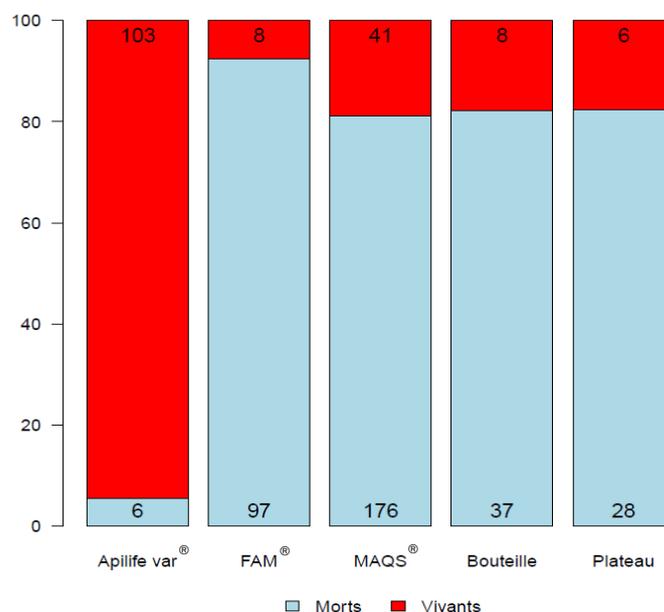


Hormis à l'ADARA et à l'ADAPRO LR, l'efficacité de l'application d'acide formique par MAQS® est totale au bout de 14 jours. Cette évolution est cohérente avec la modalité d'application des strips, placés à J0 et retirés à J7. L'effet des MAQS® s'exprime durant les premiers jours suivant l'application ; les chutes qui perdurent lors de la seconde semaine s'expliquent par l'émergence du couvain et la libération des varroas contenus dans le couvain operculé de J0.

4. Mortalité des varroas sous opercule

Les observations relatives à la mortalité des varroas sous les opercules des cellules de couvain dans les différentes ruches seront ici regroupées par type de traitement (Figure 9). La principale raison de cette décision est le nombre relativement faible de données disponibles lors du croisement des modalités de site et de traitement (voir Tableau II).

Figure 9. Pourcentage de varroas morts et vivants observé sous opercule par traitement.



Les nombres indiquent la quantité de varroas observés correspondant à la catégorie concernée.

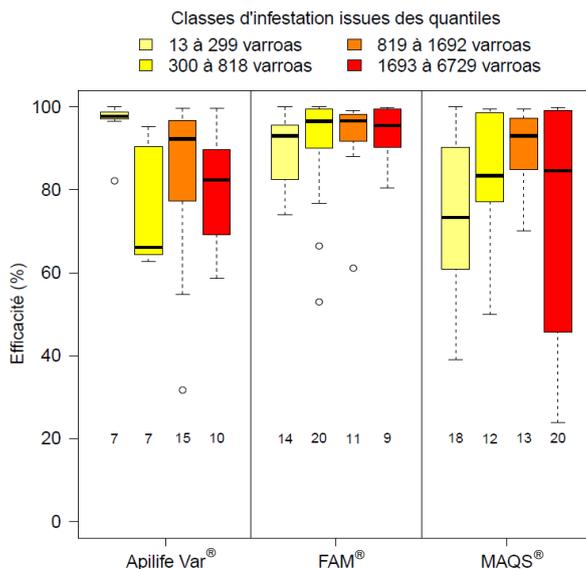
Hormis le fait que l'Apilife Var® n'agit pas sur les varroas présents sous l'opercule, les divers traitements à base d'acide formique présentent des efficacités sur les varroas sous opercules très comparables (environ 80 %, et 90 % pour FAM®). L'application d'acide formique par MAQS® comparée à celle du FAM® via le test d'indépendance du χ^2 s'avère significative ($p = 0,008$), révélant donc là encore une meilleure efficacité de cette dernière méthode d'application. En procédant par tirage aléatoire, nous sommes en mesure d'affirmer que le nombre différent de relevés en fonction des sites (Tableau II) n'a pas d'influence sur ce résultat. Enfin, le nombre d'observations disponibles pour l'administration de l'acide formique par « plateau » et « bouteille » a été trop bas (respectivement 4 et 2) pour l'analyser statistiquement. Le détail complet des données issues de ces prospections figure en Annexe V, page 40.

C. Recherche de liens entre efficacité et covariables

1. Analyse des liens entre infestation et efficacité

D'une part, le nombre de varroas retrouvés sur les langes est dépendant du niveau d'infestation de la colonie, d'autre part, l'infestation est ici estimée à partir des chutes de varroas dénombrées lors des traitements. Ainsi, l'infestation ne peut être étudiée comme un paramètre indépendant de l'efficacité. C'est pourquoi cette partie s'intéresse particulièrement à la recherche d'un effet de l'infestation sur l'efficacité. L'approche la plus simple consiste à réaliser des classes d'infestations, puis de regarder quelles ont été les efficacités obtenues pour chacune de ces classes. Afin d'équilibrer le nombre de colonies par classe, les classes d'infestation ont été construites à partir des quantiles de répartition des chutes après le traitement de contrôle. Les modalités de traitements « plateau » et « bouteille » ont été exclues de ces analyses car elles étaient de nature à biaiser l'analyse. La Figure 10 permet de visualiser les efficacités obtenues par type de traitement et par classe d'infestation.

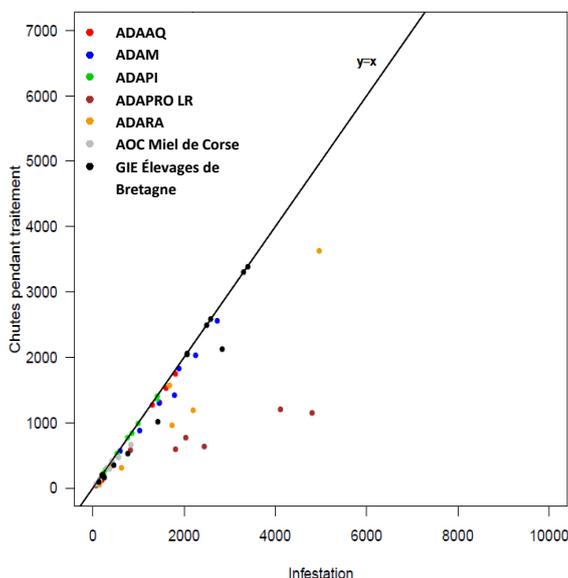
Figure 10. Efficacité en fonction de l'infestation pour les traitements Apilife Var®, FAM® et MAQS®.



Les chiffres indiquent le nombre de colonies analysées.

Pour chacun de ces traitements, l'efficacité ne semble pas proportionnelle à l'infestation. En effet, pour l'Apilife Var®, l'efficacité varie aléatoirement d'une classe à l'autre tandis qu'elle semble constamment haute pour le traitement FAM®, quelle que soit l'infestation. Pour le MAQS®, l'efficacité semble augmenter jusqu'à la classe d'infestation de 819 à 1 692 varroas. Pour ce traitement, la projection des chutes pendant le traitement en fonction de l'infestation (Figure 11) offre une vision plus détaillée de cette relation.

Figure 11. Graphique de l'efficacité dans l'espace des chutes pendant la période de test du MAQS® (en ordonnée) et de l'infestation (en abscisse).



La droite « $y = x$ » correspond à une efficacité de 100 %, x étant l'infestation et y les chutes pendant la période de test. Un éventuel lien entre ces deux variables se traduirait donc par un écart croissant ou décroissant entre la droite et les relevés en fonction de l'infestation. Aucune tendance de ce type n'apparaît ici pour le traitement MAQS®. En effet, seules les colonies de l'ADARA et de l'ADAPRO LR marquent des écarts importants sans que cette singularité puisse être liée au niveau d'infestation. En conclusion, aucun lien entre efficacité et infestation n'est avéré, quel que soit le traitement.

2. Lien entre efficacité et surface de couvain à JO

Aucune corrélation n'a été trouvée lors de la recherche de liens entre l'efficacité et la surface de couvain mesurée à JO pour le FAM® et le MAQS® (respectivement, $R^2 = 0$ et $0,03$). La corrélation la plus élevée a été trouvée avec l'Apilife Var® pour lequel $R^2 = 0,22$, ce qui permet de rejeter l'existence d'un lien entre ces deux variables. En conclusion, la surface de couvain lors de l'application de chacun de ces traitements n'a aucun effet sur leur efficacité.

3. Modélisation linéaire généralisée

L'objet de cette partie est de fournir un résumé des principaux résultats apportés par le travail de modélisation. Les tableaux de sorties des modèles ne seront pas présentés ici mais figurent en Annexe III, p.35.

Avant tout, il convient de rappeler les variables étudiées, qui sont : les sites d'étude, les traitements testés, les surfaces de couvain à JO, et les différentes déclinaisons des températures enregistrées (amplitude, extrêmes et moyennes journalières, ainsi que l'indice mentionné en Annexe II p.33). Les hypothèses posées par le groupe de travail lors de la conception du protocole peuvent être hiérarchisées grâce au traitement de données qui a été réalisé jusqu'ici :

1. le site d'étude a un effet sur l'efficacité ;
2. les traitements présentent des efficacités différentes ;
3. la surface de couvain lors de l'application du traitement a un effet sur l'efficacité ;
4. la température (moyenne journalière, amplitude, etc.) a un effet sur l'efficacité.

Comme cela a été précisé dans le protocole expérimental, seule la moitié des ruches a été équipée d'enregistreurs thermiques. Deux modèles ont donc été réalisés, l'un exclut les températures pour utiliser l'intégralité des données (appelé « modèle général ») tandis que l'autre intègre les températures (appelé « modèle thermique »). Le modèle général sera le premier abordé.

L'analyse commence par une procédure de sélection des variables. Cette sélection renseigne sur l'intérêt des variables dans l'ajustement du modèle. Lorsque cet intérêt n'est pas significatif, ce résultat suffit à rejeter l'existence de lien tangible avec la variable réponse (l'efficacité). Ainsi, l'absence de lien entre efficacité et surface de couvain à JO est avérée par cette procédure de sélection (Annexe I).

En revanche, le type de traitement appliqué et le site d'étude participent significativement à l'ajustement du modèle. Cette significativité ne permet cependant pas de connaître l'influence de la variable sur l'efficacité, le gain en termes d'ajustement pouvant correspondre à l'explication d'un « bruit de fond ». Pour cela, il est nécessaire d'examiner les résultats de la modélisation (Annexe III, p.35). Ces résultats nous apprennent que l'ADARA et l'ADAPRO LR sont caractérisées par une efficacité significativement plus basse tandis que l'efficacité du traitement FAM® est significativement supérieure à celle d'Apilife Var® ($p = 0,03$).

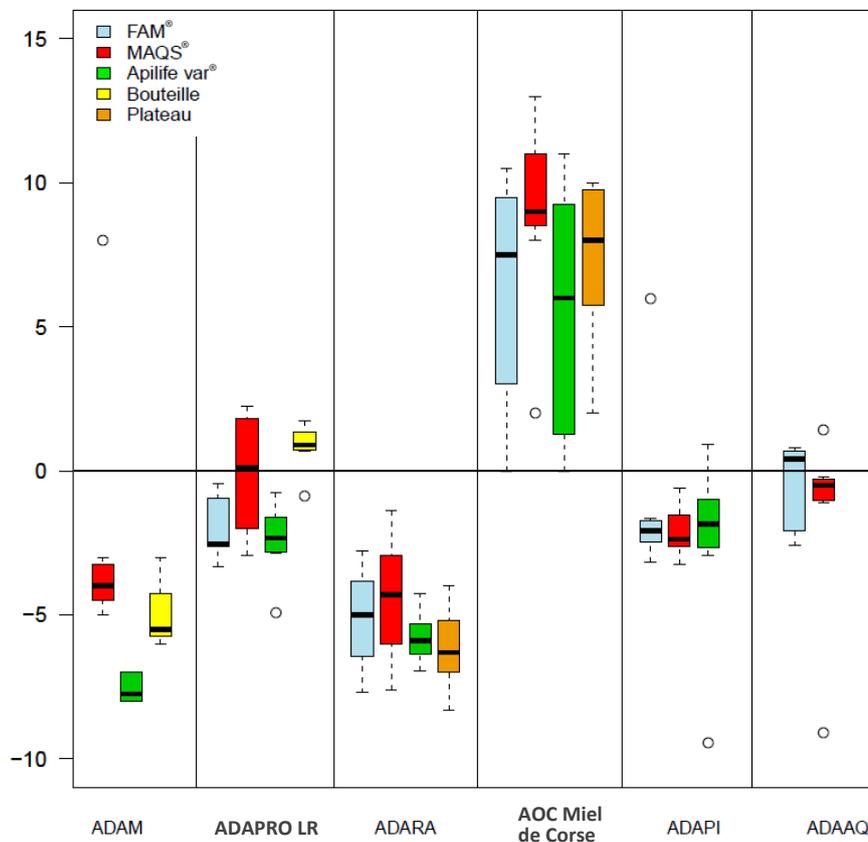
En suivant la même démarche, le modèle thermique a permis de conclure que ni la moyenne, ni les extrêmes, ni l'amplitude des températures journalières à l'extérieur des ruches n'ont d'effet sur l'efficacité (Annexe III.3, p.37). En revanche, à l'intérieur des ruches, le dépassement des températures préconisées entraîne une diminution significative de l'efficacité du MAQS® (Annexe V p.39). Ceci doit hélas être nuancé par les applications non conformes de ce produit qui peuvent biaiser cette analyse.

D. Effet des traitements sur les colonies

1. Variation du poids des ruches

La variation du poids des ruches est utilisée ici pour révéler un éventuel effet des traitements sur la consommation des ressources alimentaires disponibles dans les colonies.

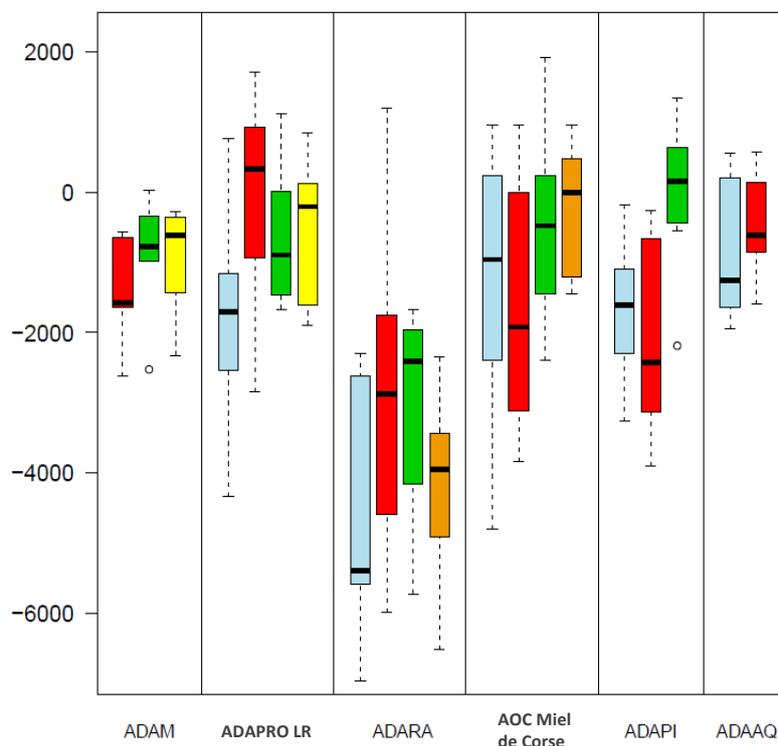
Figure 12. Variation de poids entre la mise en place et la désinstallation des ruchers par site et par traitement.



Les comparaisons statistiques ont uniquement porté sur les sites où les traitements FAM®, MAQS® et Apilife Var® ont simultanément été testés. Il existe une différence significative sur la variation de poids des ruches entre les traitements MAQS® et Apilife Var® ($\alpha = 5\%$). Les colonies soumises au premier traitement ont moins connu de diminution de poids que celles traitées à Apilife Var. En revanche, le FAM® a entraîné une perte de poids équivalente à celle enregistrée avec Apilife var®. Enfin, aucune différence significative n'a été trouvée entre FAM® et MAQS®.

2. Variation de la surface de couvain

Figure 13. Variation de la surface de couvain (en cm²) entre J0 et J14 détaillée par site et traitement.



Les surfaces en couvain des colonies traitées avec Apilife Var[®] ont moins diminué que celles traitées avec MAQS[®] et FAM[®] dans trois régions sur quatre ayant testé ces traitements (ADARA, AOC miel de Corse, ADAPI). Les colonies traitées avec MAQS[®] ont connu une réduction du couvain supérieure à celle mesurée dans les colonies traitées avec Apilife Var[®] sur le site de l'ADAM. Sur le site de l'ADAPRO LR, les colonies traitées avec FAM[®] (et non avec MAQS[®]) ont connu une réduction du couvain plus élevée qu'avec Apilife Var[®].

Là encore, Les comparaisons statistiques ont uniquement porté sur les sites où les traitements FAM[®], MAQS[®] et Apilife Var[®] ont simultanément été testés. Ainsi, le FAM[®] et le MAQS[®] se différencient significativement de l'Apilife Var[®] par une diminution de la surface de couvain plus importante ($\alpha = 1\%$). Donc, l'acide formique a entraîné une diminution de la surface du couvain au sein des colonies traitées.

3. Dysfonctionnements des colonies

Les tableaux présentés en Annexe II (p.33) et II (p.35) renseignent sur les anomalies (arrêt de ponte, absence de couvain, présence de cellules royales) observées généralement au bout de 7 jours, ainsi que sur les pertes de colonies rencontrées au cours de l'expérimentation puis à la sortie de l'hiver. Les pertes à la sortie d'hivernage ne peuvent que partiellement être imputées aux traitements testés en raison du traitement de contrôle. Cependant, ce traitement étant le même pour toutes les colonies, il reste cohérent de comparer leur état d'un traitement testé à l'autre. Il existe là encore de grandes disparités entre les observations réalisées d'un site à l'autre : le couvain n'a pas été annoté par l'ADARA, les survies hivernales ne sont pas disponibles à l'ADAPI, ni à l'ADARA, et aucune donnée n'est disponible pour le GIE Élevages de Bretagne.

Au total, environ 11 % des colonies (soit 21 sur 188) suivies ont été perdues entre le début de l'étude et le printemps. Dans le détail, 9 de ces colonies sont mortes en cours d'expérimentation et 13 sur les 88 observées sont mortes pendant l'hiver. Par site, les pertes totales les plus importantes sont :

- pour le syndicat AOC miel de Corse : 8 colonies perdues sur 32 ;
- pour l'ADAM : 6 pertes sur 24 ;
- pour l'ADAPRO LR : 4 pertes sur 32.

En regroupant les colonies en fonction du traitement utilisé et en sommant les pertes, il apparaît que :

- 5 colonies sur 42 ont été perdues sur le lot FAM® ;
- 5 sur 42 sur le lot Apilife Var® ;
- 4 sur 50 pour le lot MAQS® ;
- 3 sur 16 pour le lot « bouteille » ;
- 3 sur 18 le lot « plateau ».

Si les résultats obtenus en Corse surprennent, en raison de l'absence de symptômes en cours d'expérimentation (dynamique de gain de poids et sous-infestation), il est difficile d'imputer la mort des reines uniquement aux traitements à l'acide formique car ces pertes se répartissent équitablement entre les différents lot de traitement, y compris le lot Apilife Var®. En conclusion, les écarts de pertes entre sites semblent supérieurs à ceux entre traitement et il n'est donc pas possible de différencier les traitements en fonction des pertes de colonies concomitantes.

Concernant l'activité de ponte des colonies traitées, l'annexe II indique que les colonies traitées avec Apilife Var® ont connu deux arrêts de ponte et absences de couvain ouvert sur 42 ruches, tandis que les colonies traitées avec MAQS® ont connu 13 arrêts de ponte et 25 absences de couvain ouvert sur 50 colonies. Le FAM® a été associé à 5 arrêts de ponte et 7 absences de couvain ouvert sur 42 ruches. Enfin, 5 ruches traitées avec l'application d'acide formique par bouteille sur 18 ne présentaient pas de couvain ouvert. Deux ruches sur les 16 suivies pour la modalité « plateau » présentaient à la fois un arrêt de ponte et des cellules royales. Enfin, 12 colonies traitées avec les languettes MAQS® ont présenté des cellules royales au terme de la première semaine d'expérimentation. Ces colonies ont représenté un quart de celles en suivi pour ce traitement, et plus de la moitié des colonies avec cellules royales dénombrées sur l'ensemble des suivis.

Tableau IX. Détails du nombre de colonies n'ayant connu aucune anomalie au cours de l'expérimentation.

	Colonies sans dysfonctionnement	Nombre de colonies suivies	Ratio (%)
Apilife var®	37	39	95
FAM®	46	54	85
MAQS®	37	63	59
Bouteille	10	15	67
Plateau	15	17	88

Dans nos conditions, le traitement avec MAQS® a été le plus impactant sur l'activité de ponte et sur les dysfonctionnements observés sur les colonies (absence de ponte, remérage ; Tableau X).

La température lors des premiers jours d'application de l'acide formique est souvent considérée comme un facteur aggravant l'effet de cette substance sur les reines. Dans le but d'étudier cette hypothèse, des classes de température ont été déterminées en tenant compte des préconisations des fabricants ainsi que de la nécessité d'équilibrer, dans la mesure du possible, le nombre de colonies pour chaque classe. La répartition des cellules royales a ensuite été analysée (Tableau X).

Tableau X. Classes de températures et apparition de cellules royales.

Cellules royales	(22,33]	(33,39)
Absence	28	29
Présence	2	8

Il convient de relever que la majorité des cellules royales (80 %) présentes dans ce tableau proviennent de colonies traitées via MAQS®. Il apparaît clairement que ces cellules royales sont plus fréquentes au sein des ruches où la température maximale journalière moyenne dépasse les 33°C. Cela confirme donc les préconisations d'emploi de l'acide formique dans la lutte contre *Varroa destructor*.

IV. BILAN ET DISCUSSION

A. Bilan par modalité d'application d'acide formique

Pour l'ensemble des applications, l'acide formique s'est révélé être systématiquement efficace contre les varroas présents sous les opercules de couvain.

1. Diffuseurs FAM®

Les résultats font nettement ressortir l'efficacité plus élevée et plus constante de l'application d'acide formique par diffuseur FAM® en comparaison des strips MAQS® et de l'Apilife Var® sur la mortalité des varroas phorétiques. La performance de cette méthode de traitement a été confirmée par le faible nombre de varroas résiduels (72 en moyenne), qui est un critère clé pour révéler le succès d'un traitement. **Cette expérimentation permet donc d'affirmer que les diffuseurs FAM® représentent une bonne alternative aux traitements thymol.** L'efficacité optimale de cette méthode est le plus souvent atteinte au bout de 2 semaines.

Les surfaces de couvain ont connu une diminution plus élevée pour le lot FAM® en comparaison de l'Apilife Var®. En revanche, **cette modalité d'application d'acide formique n'a que rarement entraîné des arrêts de pontes ou l'apparition de cellules royales** (15 % des colonies suivies en tout). Finalement, 5 colonies sont passées en perte entre le début de l'étude et le printemps. Ces impacts ne sont guère plus importants que ce qui a été constaté sur le lot Apilife Var®. Enfin, la variation de poids de chaque ruche entre le début et la fin de l'expérimentation indique que la consommation des ressources des colonies a été moindre pour le FAM® en comparaison du traitement de référence au thymol.

2. Languettes MAQS®

Pour réaliser un bilan concernant ce traitement, les résultats obtenus après les applications non conformes aux bons usages du produit dans les sites de l'ADARA et de l'ADAPRO LR n'ont pas été considérés.

L'efficacité du traitement MAQS® sur les varroas phorétiques a été globalement satisfaisante car supérieure à celle de l'Apilife Var®, bien que légèrement inférieure à celle du FAM®. La validité de ce traitement se confirme au vu des varroas résiduels, présents en quantité comparable à celle du FAM®, et donc largement en deçà de celle du traitement de référence. L'efficacité optimale du MAQS est généralement atteinte au terme de la 1^{ère} semaine (retrait des lanières).

Les surfaces de couvain des colonies traitées avec les languettes MAQS® ont connu une nette diminution en comparaison de l'Apilife var®. Contrairement au FAM®, **de nombreux arrêts de pontes et de cellules royales ont été observés pour ce traitement.** Au total, plus de 40 % des colonies de ce lot ont connu semblables dysfonctionnement dont une grande partie correspond à l'apparition de cellules royales. En conséquence, nous supposons que cette formulation de l'acide formique affecte la communication chimique entre la reine et les ouvrières, provoquant un remérage dont le taux de réussite a été important dans cette étude (seulement 8 % de colonies mortes). Enfin, l'analyse de la variation du poids des ruches traitées avec les languettes MAQS® a abouti au même constat que celles traitées via les diffuseurs FAM®, à savoir une moindre consommation des stocks alimentaires qu'avec Apilife Var®.

3. Application par plateau et bouteille

Les modalités d'application « bouteille » et « plateau » ont montré des efficacités extrêmement variables. Malgré le peu d'ADA qui ont appliqué ces traitements (deux pour chaque), ces résultats soulignent tout de même la **possibilité d'aboutir à des échecs importants à partir de ces méthodes, invalidant leur intérêt.** Ces traitements ne se sont pas révélés particulièrement néfastes sur les colonies traitées.

B. Paramètres conditionnant l'efficacité

1. Effet de l'infestation

Pour chacun des traitements testés, le niveau d'infestation n'a pas conditionné l'efficacité obtenue. En conséquence, **l'emploi d'acide formique est approprié quel que soit la quantité de varroas présents au sein des colonies.**

2. Effet de la surface de couvain

Pour tous les traitements (thymol inclus), la surface de couvain au moment de l'application n'a pas conditionné l'efficacité obtenue. D'après ces résultats, **les traitements à l'acide formique testés ici peuvent donc être employés quelle que soit l'étendue du couvain sans que cela affecte leur efficacité.**

3. Effets de la température

Les températures moyennes, maximales et minimales journalières enregistrées sur les ruchers n'ont pas influencé l'efficacité des traitements anti-varroa. Cela a été également vrai pour les températures enregistrées à l'intérieur des ruches. **L'indice d'écarts à des températures seuils a révélé une sensibilité accrue des languettes MAQS® aux températures élevées.** Mais ces résultats doivent être considérés avec prudence en raison des défauts d'application de cette méthode en Languedoc-Roussillon et en Rhône-Alpes, régions où les températures ont pu être importantes.

La majorité des remérages a eu lieu lorsque les températures maximales journalières moyennées sur la première semaine de traitement dépassaient 33°C. À l'évidence, **l'emploi d'acide formique conjugué à une température élevée a un effet néfaste sur les reines.** La majorité de ces remérages concerne le traitement MAQS®.

Finalement, le site s'est révélé être le principal paramètre conditionnant les efficacités, tant au niveau de leur moyenne que de leur variabilité. Outre la situation géographique des ruchers durant l'expérimentation, le facteur « site » regroupe aussi de nombreux autres critères comme l'historique de chaque colonie, leur génétique, leur état de santé et bien d'autres encore. Mais logiquement, l'effet « région » le plus net a été induit par les défauts d'efficacité rencontrés avec le MAQS® et l'Apilife Var® en Rhône-Alpes et en Languedoc-Roussillon.

V. CONCLUSION

D'après nos résultats, les diffuseurs FAM® se révèlent être une alternative convaincante face à l'emploi de thymol, autant en termes d'efficacité qu'en termes d'impacts réduits sur les colonies d'*Apis mellifera*. Le MAQS® présente une efficacité satisfaisante, mais est préjudiciable aux reines, particulièrement lorsqu'il est employé alors que les températures ambiantes sont élevées. Concernant les applications par « bouteille » et « plateau », les résultats montrent que, dans des conditions d'applications *a priori* normales, leur efficacité est très variable et l'échec de traitement est une issue probable. En conséquence, l'intérêt de ces méthodes paraît limité.

Dans l'ensemble, les traitements à l'acide formique testés ont démontré leur capacité à atteindre les varroas sous les opercules de couvain, contrairement à l'Apilife Var®. L'efficacité sur les acariens infestant le couvain a été systématiquement supérieure à 80 %.

L'impact de l'ensemble de ces traitements à l'acide formique sur l'activité de ponte des reines au sein des colonies suivies est plus important par rapport à celui d'Apilife Var®, et en particulier le MAQS®. En revanche, aucun effet n'a été mesuré sur les pertes de colonies durant leur hivernage.

Enfin, ni la surface de couvain présente au moment du traitement, ni la température, ni le niveau d'infestation n'a eu d'impact sur l'efficacité des traitements.

ANNEXES

Annexe I. Calendrier des interventions

			Apilife var	MAQS	FAM	Bouteille	Plateau	Comptage linge	Pesées	Surface cv	Contrôle cv - reine	Mortalité sous l'opercule	Journée sur rucher	
Traitement	S1	J0	1 tablette découpée en 3 ou 4 morceaux	2 strips par colonies	AF 130ml 70% ouverture fct T°C	50 (Langstroth) ou 100 (Dadant) ml d'AF 85% quantité fct T°C	30 ml AF 65%	nettoyage (mise à zéro)	x	x			x	
	S2	J7	1 tablette découpée en 3 ou 4 morceaux	retrait des strips	AF 130ml 70% ouverture fct T°C	AF 85%	30 ml AF 65%	x			x	x	x	
	S3	J14	1 tablette découpée en 3 ou 4 morceaux			AF 85%	30 ml AF 65%	x		x			x	
Latence	S4	J15												
	S5	J27												
Traitement de contrôle	S6	J28	2 cartons Taktic 7%	2 cartons Taktic 7%	2 cartons Taktic 7%	2 cartons Taktic 7%	2 cartons Taktic 7%	x					x	
	S7	J35	2 cartons Taktic 7%	2 cartons Taktic 7%	2 cartons Taktic 7%	2 cartons Taktic 7%	2 cartons Taktic 7%	x					x	
	S8	J49						x	x				x	

	ADARA	GIE Élevages de Bretagne			ADAM	ADAPRO LR	AOC Corse	ADAPI	ADAAQ
S1	24/08/2012	23/08/2012	31/08/2012	02/09/2012	11/09/2012	17/09/2012	18/09/2012	18/09/2012	19/09/2012
	30/08/2012	29/08/2012	06/09/2012	08/09/2012	17/09/2012	23/09/2012	24/09/2012	24/09/2012	25/09/2012
S2	31/08/2012	30/08/2012	07/09/2012	09/09/2012	18/09/2012	24/09/2012	25/09/2012	25/09/2012	26/09/2012
	06/09/2012	05/09/2012	13/09/2012	15/09/2012	24/09/2012	30/09/2012	01/10/2012	01/10/2012	02/10/2012
S3	07/09/2012	06/09/2012	14/09/2012	16/09/2012	25/09/2012	01/10/2012	02/10/2012	02/10/2012	03/10/2012
	13/09/2012	12/09/2012	20/09/2012	22/09/2012	01/10/2012	07/10/2012	08/10/2012	08/10/2012	09/10/2012
S4	14/09/2012	13/09/2012	21/09/2012	23/09/2012	02/10/2012	08/10/2012	09/10/2012	09/10/2012	10/10/2012
	20/09/2012	19/09/2012	27/09/2012	29/09/2012	08/10/2012	14/10/2012	15/10/2012	15/10/2012	16/10/2012
S5	21/09/2012	20/09/2012	28/09/2012	30/09/2012	09/10/2012	15/10/2012	16/10/2012	16/10/2012	17/10/2012
	27/09/2012	26/09/2012	04/10/2012	06/10/2012	15/10/2012	21/10/2012	22/10/2012	22/10/2012	23/10/2012
S6	28/09/2012	27/09/2012	05/10/2012	07/10/2012	16/10/2012	22/10/2012	23/10/2012	23/10/2012	24/10/2012
	04/10/2012	03/10/2012	11/10/2012	13/10/2012	22/10/2012	28/10/2012	29/10/2012	29/10/2012	30/10/2012
S7	05/10/2012	04/10/2012	12/10/2012	14/10/2012	23/10/2012	29/10/2012	30/10/2012	30/10/2012	31/10/2012
	11/10/2012	10/10/2012	18/10/2012	20/10/2012	29/10/2012	04/11/2012	05/11/2012	05/11/2012	06/11/2012
S8	12/10/2012	11/10/2012	19/10/2012	21/10/2012	30/10/2012	05/11/2012	06/11/2012	06/11/2012	07/11/2012

Annexe II. Méthodologie de la modélisation

Deux modèles linéaires généralisés (ou GLM) ont été réalisés dans le but de déterminer parmi les variables explicatives lesquelles ont eu une influence sur le nombre de varroas chutés à cause du traitement analysé (variable à expliquer). Le premier modèle intègre les températures enregistrées et concerne donc la moitié des ruches tandis que le second exclut les températures afin d'intégrer un maximum de colonies. Ces deux modèles reposent sur la même méthodologie et, quelques soient les variables explicatives présent en considération, leur formule générale peut être écrite ainsi :

$$n \sim a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + \log(N)$$

Où n est le nombre de varroas comptés avant la période de contrôle, a les coefficients déterminés par la modélisation, x les variables explicatives et N la somme totale des chutes de varroas à la fin de l'expérimentation. Puisque le nombre de varroas dénombrés est dépendant du taux d'infestation initial de chaque colonie, nous avons pondéré n grâce à « $\log(N)$ » (considéré comme « offset », ce qui signifie que son coefficient est fixé à 1). Ce procédé permet de s'affranchir du nombre d'acariens présents dans les colonies avant le traitement et donc d'analyser véritablement l'efficacité (révélée par n).

Les variables explicatives communes aux deux modèles utilisés telles qu'elles seront désignées par la suite sont :

- Site : ADA ayant réalisé les relevés,
- Type : traitement testé,
- SO : surface de couvain avant la première application des traitements (donc à J0).

Le premier modèle porte sur l'analyse des données thermiques (et sera appelé « modèle thermique » par opposition au « modèle global ») et inclut donc différents paramètres calculés à partir des températures brutes provenant des 68 thermomètres placés au sein des ruches et défini ci-dessous.

- A : Amplitude thermique journalière.
- Moy : Moyenne des températures journalières.
- MDS : Moyenne des écarts de température par rapport aux seuils de préconisations d'emploi de l'acide formique et de l'Apilife Var® (« DS » pour « Degrés seuils ») à savoir entre 10°C et 30°C, par jour. La démarche suivie pour la création de cette variable sera détaillée dans la partie 0.

Ces données ont été moyennées sur la période d'effet supposée du traitement considéré, à savoir du jour de la première application à la fin de la semaine suivant la dernière application. Ainsi, les moyennes portent sur la thermie enregistrée de J0 à J21 pour le traitement à l'Apilife Var®, de J0 à J14 pour le traitement FAM® et de J0 à J7 pour le traitement MAQS®. De manière plus générale, la démarche suivie pour la sélection des variables explicatives a été basée sur l'étude de leur participation à la diminution de la variance résiduelle, et donc à l'ajustement du modèle. Dans la pratique, il s'agit de considérer un modèle général comprenant la totalité des variables explicatives disponibles puis de le confronter à un ensemble de sous-modèles les excluant une à une. Leurs ajustements respectifs sont ensuite comparés afin de déterminer si il existe des différences significatives à l'aide d'un test de Fisher (adapté à la sur-dispersion des données). En cas de significativité, la variable est retenue et, dans le cas contraire, elle est exclue afin de privilégier le modèle le plus simple (principe de parcimonie).

La variable à expliquer étant issue de comptage, la loi de distribution consacrée pour ce type de modélisation est la loi de Poisson avec une fonction de lien logarithmique. Cependant, en raison d'une sur-dispersion significative dans la distribution des comptages (p -valeur < 0.05), la loi finalement utilisée est une loi « quasi-poisson » qui permet de composer avec ce critère.

Il est important de rappeler que l'utilisation de la modélisation en statistique descriptive dans le but de comparer les résultats obtenus entre différentes modalités de plusieurs facteurs se fait en comparaison d'une modalité de référence (appelé « intercept »). Si la référence des traitements testés était toute désignée (Apilife Var®), l'ADAPI a été choisie arbitrairement comme site de référence en raison de la remarquable efficacité obtenue lors d'une première exploration des résultats pour l'ensemble des traitements ainsi que pour la faible variabilité de cette réponse.

Enfin, la surface de couvain à J14 ainsi que la variation du poids des ruches au cours de l'expérimentation n'ont pu être utilisées comme variables explicatives de l'efficacité car potentiellement influencées par les traitements.

Un dernier recoupement, non présenté ici, a été réalisé à partir du type de ruche utilisé (à savoir Langstroth ou Dadant) en raison de l'impact direct que cela peut avoir sur la diffusion (les volumes de ces modèles étant différent) et donc l'efficacité des produits ainsi que pour des raisons indirectes en lien avec les différences comportementales de *Apis mellifera* entre ces types de ruches. Cependant, leur répartition étant inégale entre les sites, faire cette analyse revient à comparer les colonies de l'ADAAQ, l'ADAPI, l'AOC Corse et la moitié de l'ADARA d'une part, à celles appartenant aux autres partenaires d'autre part. C'est pourquoi, malgré l'importance de ce paramètre, il est intellectuellement inconvenant de l'inclure dans les modèles.

Une ultime remarque doit être émise à l'égard des individus extrêmes (aussi appelés « outliers ») présents dans les données. Le cas d'école veut que de telles observations soient exclues des analyses car jugés non représentatifs des séries dont ils sont issus. Il convient cependant de remettre en question la dite représentativité dans le cas présent. En effet, le nombre de colonies suivies par croisement de modalités étant relativement faible (généralement 8), il est délicat de les considérer comme pleinement représentatifs de la réalité et couvrant d'un extrême à l'autre des cas possibles au point de pouvoir considérer comme invraisemblable une valeur, quelle qu'elle soit, dont l'omission entraîne par ailleurs plus de 10 % de perte d'information disponible. C'est pourquoi il a été décidé de ne pas procéder de la sorte.

Annexe III. Résultats détaillés de la modélisation

Les résultats de la procédure de sélection des variables à intégrer dans le modèle général sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Annexe III.1. Variations de l'ajustement du modèle général en fonction du retrait des variables explicatives une à une.

Single term deletions				
Model: chutes ~ site + traitement + SO ; offset = log(Infestation)				
	Df	Deviance	F value	Pr (>F)
<none>		5 881,4		
site	5	7 935,00	8,17	1.21E-06
traitement	2	7 398,70	15,09	1.48E-06
Surface de couvain à J0	1	5 891,80	0,21	0,6503

Signif. Codes : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

La surface du couvain à J0 ne participe pas à l'ajustement du modèle. Ce paramètre peut donc être exclu, ce qui permet l'introduction des données relatives au GIE Élevages de Bretagne pour lequel ces surfaces n'avaient pu être mesurées. L'annexe III.2 présente les résultats du modèle ne contenant que les variables « site » et « traitement ».

Annexe III.2. Résultats du modèle général.

Model: chutes ~ site + traitement, offset = log(Infestation)				
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0,07	0,05	-1,22	0,23
ADAAQ	-0,01	0,08	-0,07	0,95
ADAM	-0,05	0,07	-0,74	0,46
ADAPRO LR	-0,50	0,07	-6,94	1,15E-10
ADARA	-0,18	0,06	-3,16	0,002
AOC miel de Corse	-0,01	0,10	-0,08	0,94
GIE Élevages de Bretagne	-0,03	0,06	-0,50	0,62
FAM®	0,11	0,05	2,15	0,03
MAQS®	-0,08	0,05	-1,69	0,09

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 48.30)

Null deviance: 12 178,6 on 155 degrees of freedom

Residual deviance: 7 273,1 on 147 degrees of freedom

L'ADARA et surtout l'ADAPRO LR sont différenciées très significativement par une efficacité des traitements inférieure par rapport aux autres sites. Le traitement FAM® présente une efficacité significativement supérieure au traitement Apilife Var®, et par extension au traitement MAQS® dont l'efficacité est plus basse que l'Apilife Var® en prenant en compte les résultats de l'ADARA et de l'ADAPRO LR.

La même démarche a été suivie pour le modèle thermique, les résultats obtenus lors de la procédure de sélection des variables figurent suivantes.

Annexe III.3. Variations de l'ajustement du modèle thermique en fonction du retrait des variables explicatives une à une.

Single term deletions					
Model: chutes ~ site + traitement*MDS + A + Moy					
	Df	Deviance	F value	Pr (>F)	
<none>		1444,4			
site	6	2425,6	5,43	0,0002	***
A : Amplitude thermique Journalière	1	1477,7	1,10	0,29	
Moy : Moyenne des températures Journalières	1	1515,2	2,35	0,13	
MDS : Moyenne des écarts de température par rapport aux seuils de préconisations en interaction avec le traitement	2	1795	5,82	0,005	**

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

À nouveau, l'effet région s'avère être le principal facteur explicatif de l'efficacité des traitements. Une influence significative de l'écart entre températures mesurées lors de l'application des produits et températures préconisées par le fabricant a également été révélée, en interaction avec le traitement testé. En revanche, ni l'amplitude, ni la moyenne journalière ne participent à l'ajustement du modèle. Cette analyse permet donc d'affiner ce modèle thermique en ne gardant que les paramètres qui se sont avérés significatifs, et les résultats issus du modèle sélectionné sont présentés ci-dessous.

Annexe III.4. Résultats du modèle thermique.

Model: chutes ~ site + traitement*MDS, offset = log(Infestation)					
Coefficients:					
	Estimation de l'effet	Variance de l'effet	t value	P valeur	
(Intercept)	-0,48	0,28	-1,69	0,098	.
ADAAQ	-0,20	0,11	-1,79	0,079	.
ADAM	-0,01	0,11	-0,12	0,903	
ADAProLR	-0,50	0,10	-5,05	6,31E-06	***
ADARA	-0,24	0,11	-2,12	0,039	*
AOC Corse	-0,13	0,14	-0,94	0,351	
GIE Bretagne	-0,40	0,13	-3,15	0,003	**
FAM®:MDS	-0,16	0,12	-1,29	0,203	
MAQS®:MDS	-0,41	0,13	-3,10	0,003	**

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 29,07)

Null deviance: 3574,8 on 61 degrees of freedom

Residual deviance: 1516,1 on 53 degrees of freedom

Hormis l'effet région relevé une fois encore, il apparaît que la variable MDS en interaction avec le MAQS[®] a un effet significatif sur l'efficacité. Ainsi, les écarts entre températures mesurées à l'intérieur des ruches et celles préconisées par le fabricant diminuent l'efficacité de ce produit. Ce résultat doit cependant être interprété avec prudence car les applications non-conformes sur l'ADARA et l'ADAPRO LR font partie intégrante cette analyse.

Annexe IV. Profils thermiques des régions

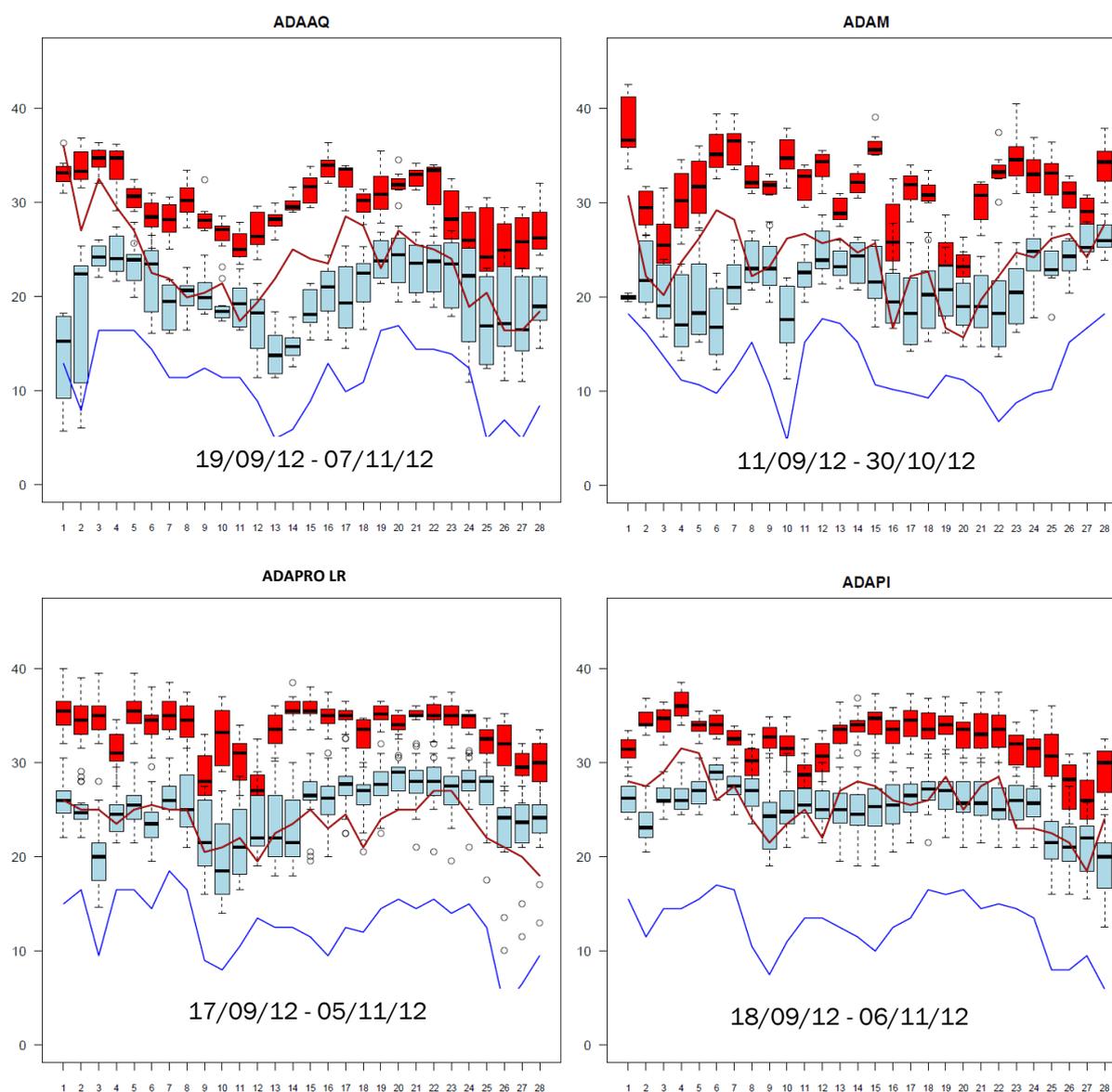
Annexe IV.1. Profil thermique de chaque site.

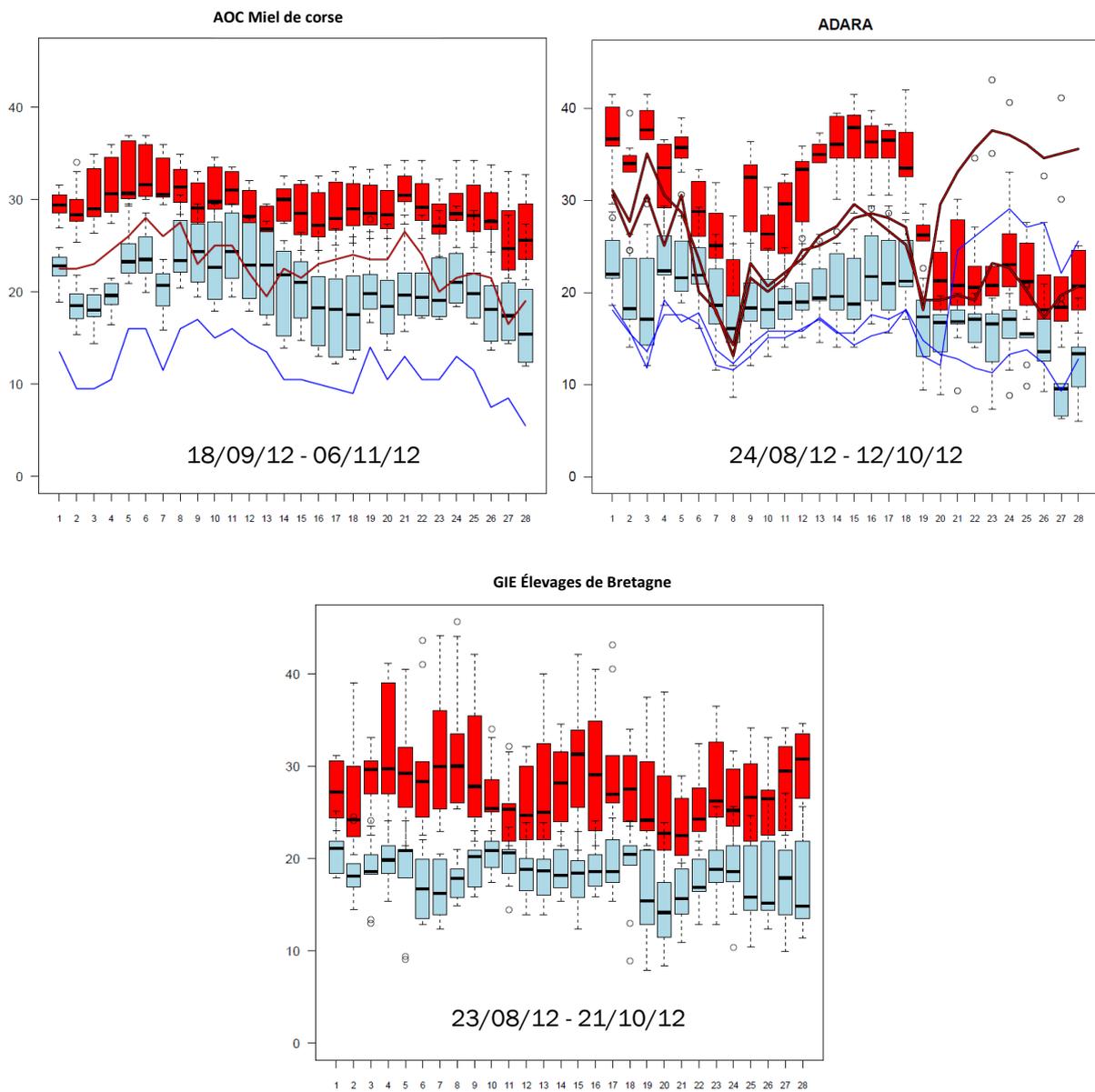
Boîtes à moustache : températures à l'intérieur des ruches

Courbes : températures minimales (bleu) et maximales (rouge) journalières extérieures

Ordonnées : températures en degré Celsius

Abscisses : Nombre de jours depuis le début de l'expérimentation





Deux représentations se distinguent parmi cette série. En Bretagne, par manque de matériel, les températures extérieures n'ont pu être enregistrées sur aucun des cinq ruchers. En région Rhône-Alpes, deux ruchers ont été utilisés dans l'expérimentation (Dadant et Langstroth), ce qui explique la présence des quatre courbes pour les températures extérieures. Les courbes des températures extérieures maximales et minimales des deux ruchers de l'ADARA sont similaires jusqu'à une nette différenciation qui se produit à partir du vingtième jour. Les températures maximales relevées en extérieur diminuent alors d'une médiane de 35°C à 20°C tout comme les maximales à l'intérieur des ruches. Suite à cette diminution, un des enregistreurs extérieurs présente une augmentation des minimums et maximums. Cette augmentation n'étant pas suivie par les températures relevées à l'intérieur des ruches, il est fort probable que l'enregistreur extérieur ait été, d'une façon ou d'une autre, exposé à l'ensoleillement à cette période. Toujours est-il qu'il s'agit du début de la période de latence et donc cela n'aura aucun effet dans l'exploitation des données.

Concernant l'homogénéité des lots, il est évident que chaque région possède un profil thermique particulier. Les différences de profils peuvent en plus être renforcées par la période d'expérimentation qui varie d'un site à l'autre avec un écart maximum de trois semaines. Cependant, l'examen des températures révèle que les univers thermiques enregistrés de l'Aquitaine à la région PACA présentent de fortes similitudes en termes de variabilité, d'amplitudes et d'extrêmes, autant au sein des ruches que sur les ruchers malgré quelques singularités observées. Le profil obtenu sur l'ADARA est quant à lui typique d'un climat plus montagnard, avec des chutes de températures drastiques et ponctuelles (aux alentours du

huitième et du vingtième jour de l'expérimentation) entraînant des refroidissements au sein des ruches. Par ailleurs, la variabilité des températures au niveau des diffuseurs semble plus importante dans les régions Rhône-Alpes, Corse et Bretagne.

Annexe V. Détail des prospections de couvain

Annexe V.1 : Observations et comptages de varroas sous opercule.

	Cellules observées	Cellules infectées	Varroas vivants	Varroas morts
Apilife Var®	464	71	103	6
FAM®	974	98	8	97
MAQS®	1237	185	41	176
Bouteille	113	37	8	37
Plateau	422	30	6	28

Annexe VI. Impact des traitements sur les colonies

Annexe VI.1 : Tableau global des observations. Les ratios correspondent au nombre de colonies concernées par observation sur le nombre total de ruches dans le lot.

		Arrêt de ponté	Absence de couvain ouvert	Absence de couvain operculé	Cellules Royales	Date des relevés	Pertes en automne	Etat au printemps
Apilife var	ADAAQ							
	ADAM	0/8	1/8	0/8	0/8	J7	2/8	1 faible (1 seul CC)
	ADAPI	1/8	1/8	0/8	1/8	J7	0/8	
	ADAProLR	0/8	0/8	0/8	0/8	J7	0/8	2 KO
	ADARA	1/10			0/10	J14	0/10	
FAM	AOC Corse	0/8	0/8	0/8	0/8	J7	1/8	
	ADAAQ	0/8	3/8	0/8	0/8	J7	2/8	
	ADAM							
	ADAPI	2/8	2/8	0/8	2/8	J7	0/8	
	ADAProLR	0/8	0/8	0/8	0/8	J7	0/8	1 KO
MAQS	ADARA	1/10			1/10	J9	0/10	
	AOC Corse	2/8	2/8	0/8	2/8	J7	0/8	2 KO ; 1 orpheline
	ADAAQ	0/8	8/8	0/8	0/8	J7	0/8	
	ADAM	4/8	7/8	0/8	4/8	J7	1/8	1 bourdonneuse ; 2 faibles
	ADAPI	6/8	8/8	0/8	6/8	J7	0/8	
Bouteille	ADAProLR	1/8	1/8	1/8	0/8	J7	0/8	1 couvain en mosaïque et loque européenne, 1 faible
	ADARA	1/10			1/10	J14	1/10	
	AOC Corse	1/8	1/8	1/8	1/8	J7	0/8	1 KO
	ADAAQ							
	ADAM	0/8	5/8	0/8	0/8	J7	1/8	1 orpheline ; 1 faible
Plateau	ADAPI							
	ADAProLR	0/8	0/8	0/8	0/8	J7	0/8	1 KO
	ADARA							
	AOC Corse							
	ADAAQ	2/10			2/10			
Global	AOC Corse	0/8	0/8	0/8	0/8	J7	0/8	2 KO
	Apilife var	2/42	2/42	0/42	1/42		3/42	2 KO ; 1 faible
	FAM	5/42	7/42	0/42	5/42		2/42	3 KO ; 1 orpheline
	MAQS	13/50	25/50	2/50	12/50		2/50	1 KO ; 1 bourdonneuse ; 2 faibles
	Bouteille	0/16	5/16	0/16	0/16		1/16	1 KO ; 1 orpheline ; 1 faible
Total	Plateau	2/18	0/18	0/18	2/18		1/18	2 KO
		22/168	39/168	2/168	20/168		9/168	9 KO ; 1 bourdonneuse ; 2 orphelines ; 4 faibles

Annexe VI.2 : Tableau de synthèse des observations. Les chiffres correspondent au nombre de colonies concernées.

	Observation	ADAAQ	ADAM	ADAPI	ADAProLR	ADARA	AOC Corse	Total
Apilife var	Perte pendant étude		2/8	0/8	0/8	0/10	1/8	3/42
	Perte printemps		0/8		2/8		1/8	2/24
	Bourdonneuse printemps		0/8		0/8		0/8	2/24
FAM	Perte pendant étude	2/8		0/8	0/8	0/10	0/8	2/42
	Perte printemps				1/8		2/8	3/16
	Bourdonneuse printemps				0/8		1/8	1/16
MAQS	Perte pendant étude	0/8	1/8	0/8	0/8	1/10	0/8	2/50
	Perte printemps		0/8		0/8		1/8	1/24
	Bourdonneuse printemps		1/8		0/8		0/8	1/24
Bouteille	Perte pendant étude		1/8		0/8			1/16
	Perte printemps		0/8		1/8			1/16
	Bourdonneuse printemps		1/8		0/8			1/16
Plateau	Perte pendant étude					1/10	0/8	1/18
	Perte printemps						2/8	2/8
	Bourdonneuse printemps						0/8	0/8
Total	Perte pendant étude	2/16	4/24	0/24	0/32	2/40	1/32	9/168
	Perte printemps		0/24		4/32		6/32	10/88
	Bourdonneuse printemps		2/24		0/32		1/32	3/88
	Tout confondus	2/16	6/24	0/24	4/32	2/40	8/32	