

Caméra thermique à infrarouge, un nouvel outil apicole pour détecter les mortalités hivernales ?

Mélodie Lettmann¹, Christophe Roy², Claire Beauvais², Pascal Gilles², Hélène Lemoine², Philippe Noireterre², Lydia Vilagines², Matthieu Dacher³, Mathilde Saussac¹, Pascal Hendrikx¹, Marie-Pierre Chauzat¹

Auteur correspondant : Marie-pierre.CHAUZAT@anses.fr

¹ Anses, Unité de Pathologie de l'Abeille de Sophia-Antipolis, Unité Epidémiologie de Lyon et DSP de Maisons-Alfort

² SNGTV, 5 rue Moufle, 75011 PARIS

³ Sorbonne Université, INRA, CNRS, IRD, Université Paris Diderot, Université Paris Est Créteil - Institute for Ecology and Environmental Sciences of Paris (iEES Paris), Paris, France.

Résumé

Au cours de l'hiver, les colonies sont capables de maintenir une température quasi-constante et relativement élevée au sein de l'essaim, ce qui leur permet de survivre pendant la saison froide. A cause des faibles températures extérieures, les apiculteurs n'ont pas la possibilité d'observer et de surveiller leurs abeilles car l'ouverture des ruches causerait un choc thermique important et dangereux. Les apiculteurs se trouvent alors contraints de constater les pertes hivernales uniquement au printemps, lors de la reprise d'activité des colonies. Afin d'améliorer la détection précoce de ces mortalités de façon non-intrusive, nous avons examiné le potentiel des caméras thermiques à infrarouges comme nouvel outil apicole. Les premiers résultats suggèrent qu'elles pourraient être utiles pour suivre la survie des colonies.

Mots-clés

Apiculture, mortalités hivernales, colonies d'abeilles, thermographie infrarouge

Abstract

Can infrared thermal cameras be used as a new beekeeping tool to detect colony winter collapse?

During winter, honeybee colonies maintain temperature in the hive at a stable level. This thermoregulation behavior allows the colony to survive until the following spring. Due to cold temperature during winter, beekeepers cannot visit the colonies by opening the hives as this would cause a dangerous thermal shock for the bees. Therefore, beekeepers have to wait until warmer days to assess winter losses. In order to improve the early detection of dead colonies during winter in a non-intrusive way, we studied the potential use of infra-red thermal cameras as a new beekeeping tool. The first results suggest they could be useful in monitoring survival of the colonies.

Keywords

Beekeeping, winter mortality, bee colonies, infrared thermography

Introduction

L'hiver est une période critique pour l'apiculteur et ses colonies d'abeilles. Cependant, et malgré le froid extérieur, une colonie composée d'abeilles en bonne santé et en quantité suffisante regroupées au sein de la « grappe hivernale » est capable de maintenir une température minimale (10°C) pour assurer la survie des abeilles pendant plusieurs mois. Pour ce faire, elles se nourrissent des réserves glucidiques composées du miel stocké les semaines et mois précédents, ou issues de l'apport artificiel de sucres réalisé par l'apiculteur. Elles peuvent ainsi produire de la chaleur grâce à la contraction des muscles thoraciques des ouvrières qui chacune œuvrent à un effort collectif. Outre la sévérité de l'hiver, la survie hivernale des colonies dépend de plusieurs paramètres sur lesquels l'apiculteur pourra en partie agir en amont *via* la conduite de son cheptel : gestion du parasite *Varroa destructor*, nourrissage artificiel des colonies, renouvellement régulier des reines, ruches adaptées pour limiter les pertes de chaleur. En revanche, l'apiculteur est généralement dans l'incapacité de détecter d'éventuelles mortalités au cours de l'hiver et de les dater : il prend acte de ces mortalités aux premières visites permises par le retour des beaux jours, généralement au printemps seulement. Il est en effet dangereux et coûteux en énergie pour la colonie d'ouvrir les ruches en hiver lorsque les températures extérieures sont trop faibles. En outre, l'activité à la planche d'envol les belles journées d'hiver n'est pas suffisante pour s'assurer de la réalité de la survie de la colonie.

Le développement d'outils non-intrusifs permettant la détection précoce des mortalités en hiver serait un atout intéressant pour les apiculteurs, leur permettant d'améliorer la gestion de leur rucher en hiver (des colonies mortes sont généralement pillées par leurs voisines, participant ainsi à la transmission de potentiels agents vivants pathogènes) et d'anticiper les tâches à effectuer au printemps. Dater les mortalités hivernales permettrait enfin d'une part d'améliorer le suivi épidémiologique des colonies (collecte de données plus précises sur la répartition chronologique de ces mortalités au cours de l'hiver) et d'autre part d'augmenter la valeur prédictive des examens cliniques. Ces outils apporteraient des informations complémentaires pour identifier les causes de la mort de la colonie.

En hiver, si l'on admet qu'une colonie d'abeilles en bonne santé dégage de la chaleur, la température à l'intérieur de la ruche et plus précisément au cœur de la grappe d'abeilles est un paramètre indirect mais fiable pour définir sa vitalité. Quelques techniques expérimentales permettent justement

d'évaluer et de suivre cette température au cœur de la grappe : les « thermocouples » utilisés autrefois, plus récemment les « thermistors » (Becher et Moritz, 2009) placés au cœur de la ruche et les thermomètres à infrarouges constituent des avancées intéressantes en mesurant des températures sans contact. Ces dernières décennies ils ont ainsi été utilisés par exemple pour des études relatives à la physiologie de la thermogénèse par les abeilles (Stabentheiner et al. 2003; Stabentheiner et Schmaranzer 1987). L'investissement financier représenté par ces outils, assez lourd, en limitait jusqu'ici l'usage à la recherche appliquée. Mais, depuis quelques années, le coût des outils thermographiques a nettement diminué et les caméras thermiques sont devenues accessibles. La filière apicole, comme d'autres filières, tente donc de développer des applications concrètes en vulgarisant leur utilisation : évaluation de la force des colonies, contrôle de la présence de couvain, dépistage des mortalités (Bromenshenk 2016; Magnini 2018; Mangum 2016; Shaw et al. 2011).

Il y a encore peu de publications relatives au dépistage des mortalités hivernales, et les effectifs testés étaient souvent faibles. Dans cette étude, nous avons donc examiné le potentiel des caméras infrarouges pour les apiculteurs sur le terrain en développant un nouveau protocole de mesure et d'analyse des images. Nous nous sommes efforcés d'avoir des effectifs suffisants et des situations diversifiées : les mesures ont été réalisées sur différents ruchers, avec différentes conduites apicoles et dans différents départements.

Matériels & Méthodes

Collecte des données

Des mesures à l'aide de caméras thermiques à infrarouges (modèle Flir C2[®], résolution écran 80x60 pixels, sensibilité thermique 0,10 °C, prix d'achat d'environ 800 € HT, financement par la SNGTV) ont été effectuées sur plusieurs ruchers durant l'hiver 2016-2017 par des vétérinaires apicoles volontaires. Les ruchers étudiés se trouvaient dans différents départements français dont *a priori* la sévérité de l'hiver diffère (Allier, Ariège, Calvados, Cantal, Drôme/Isère, Ile de France ; **figure 1**). Les colonies se trouvaient dans des conditions normales d'élevage, les ruchers sélectionnés appartenant à des apiculteurs volontaires au sein des clientèles vétérinaires participantes. Des informations utiles à l'interprétation ultérieure des données ont été collectées : taille du contenant (ruche/ruchette, modèle), matériau de la ruche (bois/plastique/polystyrène), présence éventuelle de partitions internes isolantes, température et

hygrométrie extérieures, identification de la ruche, date et heure de début et de fin de la prise d'images.

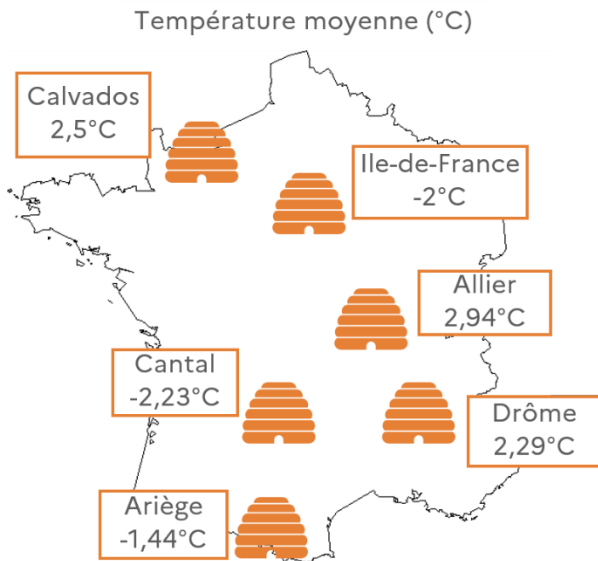


Figure 1. Répartition géographique des sites d'investigation et température moyenne observée (°C) sur chaque site au cours des mesures pendant l'hiver

Nous avons exclu un jeu de données correspondant à l'Ile de France car l'investigateur a déclaré éprouver des difficultés à utiliser la caméra en respectant le protocole expérimental : les ruches et ruchettes étaient placées trop proches les unes des autres pour disposer d'une distance suffisante à la bonne prise des mesures, et les images obtenues ne permettaient pas d'isoler une seule colonie par image. Ces doutes ont été confirmés car les résultats se sont trouvés éloignés de ceux observés sur les cinq autres sites.

Les mesures consistaient à photographier à l'aide de la caméra thermique chacune des quatre faces accessibles de la ruche (face avant, face latérale droite, face arrière, face latérale gauche ; distance optimale de deux mètres entre l'objectif de la caméra et la ruche). Les investigateurs avaient pour consignes de visiter à plusieurs reprises les ruchers au cours de l'hiver 2016-2017, chaque ruche a été mesurée une à cinq fois. Pour améliorer la qualité des images obtenues et limiter les biais, les mesures ont toutes été réalisées avant le lever du soleil, lorsque la température extérieure est encore basse et que les premiers rayons du soleil n'ont pas encore pu réchauffer les parois des ruches. Chacune des images a ensuite reçu une note donnée par le vétérinaire investigateur, sur une échelle de 0 à 5 définie en amont du protocole expérimental pour limiter la subjectivité et l'effet investigateur (**Tableau 1**). La note variait en fonction de l'intensité de la température et donc avec les couleurs présentes sur l'image thermographique, du bleu le plus froid au jaune le plus chaud (0 = image

bleue -> pas de chaleur, 5 = image rouge/jaune -> forte chaleur). Enfin, lorsque la température externe le permettait et comme témoin, les investigateurs ont ouvert chaque ruche afin de déterminer visuellement l'état de vie ou de mort de la colonie.

L'analyse statistique du jeu de données

L'analyse du jeu de données a été faite grâce au logiciel R et au logiciel Graphpad Prism. La description statistique des données avait pour but de mettre en relation l'état de mort ou de vie de la colonie avec le score mesuré par caméra.

Les abeilles en grappe n'étant pas forcément placées de façon homogène autour du centre de la ruche, nous n'avons retenu que le score maximal parmi les quatre notes attribuées au cours d'une même investigation (c'est-à-dire la valeur la plus élevée mesurée sur l'une des quatre faces d'une même ruche, soit la face la plus chaude). Par conséquent les ruches sur lesquelles seulement un score avait été observé ont été éliminées du jeu de données.

Pour chaque ruche le lien entre le score maximal observé lors de la constatation visuelle de l'état de vie et de mort a été établi. Cette distribution a été analysée par χ^2 afin de témoigner d'une différence de répartition des scores entre les colonies vivantes et les colonies mortes. Sur les mêmes données un modèle linéaire généralisé (GLM, une régression logistique) a été utilisé pour déterminer la probabilité de survie des ruches en fonction du score reçu (valeur relevée sur la face la plus chaude de la ruche). De plus, afin de quantifier la fiabilité des diagnostics de la mesure infrarouge, nous avons calculé la sensibilité et la spécificité de cette méthode ; la sensibilité est la probabilité de diagnostiquer un essaim mort si celui-ci l'est effectivement (faculté d'éviter les faux négatifs) et la spécificité la probabilité de diagnostiquer un essaim vivant si celui-ci l'est effectivement (faculté d'éviter les faux positifs).

Résultats et discussion

Un total de 317 ruches pour douze ruchers a été pris en compte dans l'étude, chaque ruche ayant été mesurée à plusieurs reprises nous basons donc notre analyse sur 1 029 visites de ruches. La répartition des scores maximaux mesurés par visite sur chaque ruche est significativement différente en fonction du critère de vie ou de mort de la colonie ($p.value < 0.0001$). Cela signifie que les scores attribués varient en fonction de l'état de vie de la colonie. Par conséquent il semble possible de prédire son état en fonction du score maximum relevé. Au regard de la répartition des données (**Figure 2**), les colonies mortes sont peu

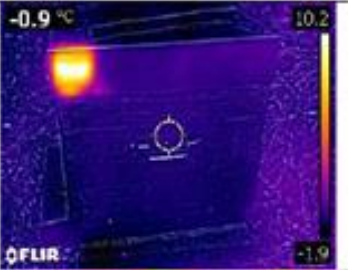

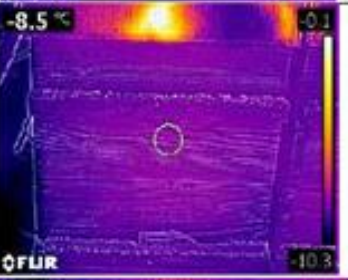
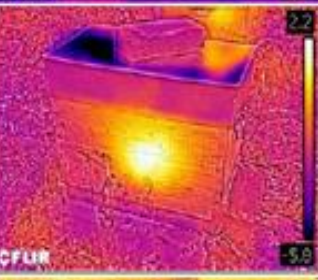
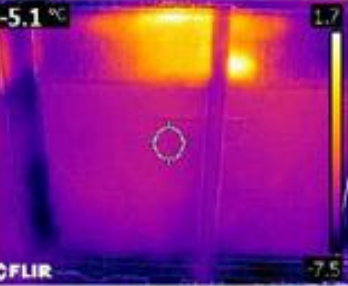
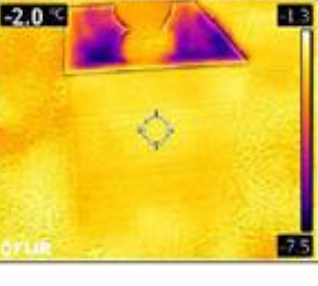
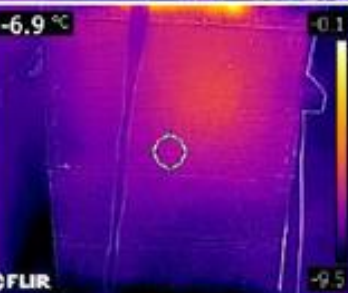

<p>Note 0</p>	<p>absence de chaleur couleur bleu homogène (image du témoin « ruche vide »)</p>		<p>Note 4</p>	<p>présence d'une source de chaleur d'intensité importante sur une aire supérieure à note 3 couleur rouge/orangée</p>	
<p>Note 1</p>	<p>présence d'une faible source de chaleur couleur violette non intense</p>		<p>Note 5</p>	<p>présence d'une source de chaleur marquée couleur jaune soutenue au cœur de la source</p>	
<p>Note 2</p>	<p>présence d'une source de chaleur de moyenne intensité sur une aire supérieure à note 1 couleur violette soutenue</p>		<p>Note NI (Non interprétable)</p>	<p>On ne peut pas donner de note (uniformité dans les tons « chauds » jaune entre la ruche et son environnement)</p>	
<p>Note 3</p>	<p>présence d'une source de chaleur d'intensité importante couleur violette et présence de tons rouges/orangés</p>		<p>Note ND (Non disponible)</p>	<p>la mesure est impossible à prendre (accès à la face impossible, distance face de la ruche/camera insuffisante)</p>	

Tableau 1. Méthode de notation appliquée pour qualifier les images thermographiques obtenues. La note attribuée à l'image (de 0 à 5), est d'autant plus élevée que l'image présente des couleurs « chaudes » elles-mêmes associées aux températures les plus élevées. Les images uniformément colorées sont qualifiées de non interprétable (NI) et les images prises sans pouvoir respecter le protocole et/ou les préconisations matérielles (distance [objectif caméra – ruche] trop courtes) sont qualifiées de non disponible (ND).

représentées dans les scores élevés (score ≥ 3), en revanche le nombre de colonies vivantes ayant un score faible (score de 0 à 2) est comparable à celui des colonies mortes.

La régression logistique réalisée à partir du score maximal relevé lors de la première mesure de chaque ruche ($n=270$, nombre de ruches dans l'étude, minoré du nombre de ruches pour lesquelles seule une mesure était disponible) a permis de déterminer sur l'ensemble du jeu de données ($n=1029$) la probabilité que la colonie soit vivante en fonction du score mesuré (Tableau 2). Suite à ce calcul, une estimation de l'état de vie est établie arbitrairement : si la probabilité d'être en vie est inférieure à 0.5 la ruche est considérée comme morte (score mesuré de 0 ou de 1), si celle-ci est supérieure à 0.5 alors elle est considérée comme vivante (score mesuré au moins égal à 2). L'état déduit à partir des probabilités est mis en parallèle avec l'état réel constaté de la colonie, afin de calculer la sensibilité et la spécificité du test. Dans notre étude la sensibilité illustre le nombre de colonies physiquement mortes et considérées comme supposées mortes, par rapport au nombre de colonies totales réellement mortes. La spécificité témoigne du nombre de colonies physiquement vivantes et classées comme supposées vivantes, par rapport au nombre total de colonies réellement vivantes. La **sensibilité** du test est de **0.685 \pm 0.028 (intervalle de confiance à 95%)** et sa **spécificité** de **0.983 \pm 0.008**. La spécificité étant élevée, notre étude démontre donc qu'il est possible, grâce à cette caméra thermique, de supposer avec un niveau de certitude élevé qu'une colonie est vivante grâce à son score. Mais la spécificité faible observée témoigne elle du fait qu'il est plus incertain d'affirmer qu'une colonie est morte. En effet, comme l'indique le tableau 2 et la figure 2, un score de 1 est ambigu.

Score maximum mesuré	Probabilité
0	0,089
1	0,371
2	0,779
3	0,955
4	0,992
5	0,998

Tableau 2. Probabilité que la colonie soit vivante en fonction du score le plus élevé, attribué à la face la plus chaude.

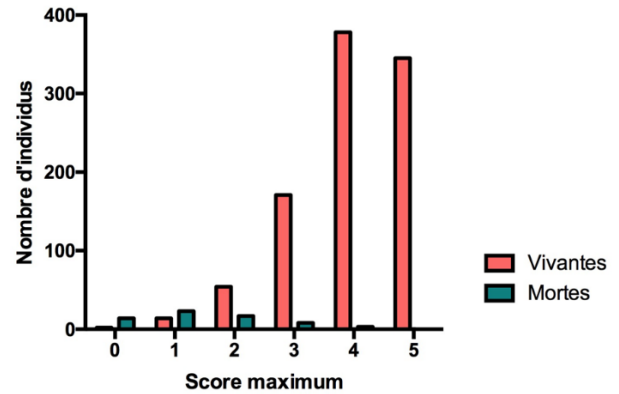


Figure 2. Répartition du nombre de colonies mortes ou vivantes en fonction du score maximum relevé (p.valeur $\text{Chi}^2 < 0,0001$). En rouge le nombre de colonies vivantes par catégorie de score, et en vert le nombre de colonies mortes.

Ces probabilités permettent de replacer l'utilisation des caméras thermiques dans un contexte d'utilisation sur le terrain. Si l'on veut utiliser cette caméra thermique pour parvenir à ces résultats, il faut donc suivre le protocole expérimental et d'interprétation des images suivant : en hiver, l'expérimentateur mesure à l'aide de la caméra thermique chaque face de la ruche avant le lever du soleil, en s'appliquant à mesurer au moins deux faces (les ruches pour lesquelles trois ou quatre faces sont mesurées donneront des prédictions plus fiables), puis attribue un score de 0 à 5 pour chacune des faces mesurées, la face avec le score le plus élevé mesuré permettant de supposer si la colonie est vivante. Afin d'attribuer un score de façon rigoureuse et la plus objective possible, un support visuel illustrant les critères d'attribution des scores est fourni aux utilisateurs. **Si ce score est de 0 il y a alors 8,9 % de chance de la colonie soit vivante, si celui-ci est de 5 ce pourcentage s'élève à 99,8 %. On aura alors la quasi-certitude que celle-ci sera vivante.**

Afin de s'assurer de la pertinence du protocole décrit précédemment, les expérimentateurs devront, autant que possible, mesurer un maximum de faces par ruches. Il est important de noter également que toute étude statistique peut générer des faux positifs ou des faux négatifs. Ainsi la présence d'une autre source de chaleur dans la ruche, par exemple une souris, pourra induire l'apiculteur en erreur. De la même façon un essaim de petite taille positionné parfaitement au centre de la ruche, ne sera pas forcément détectable par la caméra thermique. Dans la mesure où il serait possible de mesurer les quatre faces d'une ruche, il pourrait être également intéressant à terme d'envisager un autre critère de détermination que le score maximum. Un score pondéré par le score

des quatre faces pourrait permettre par exemple d'améliorer la représentativité de la mesure thermique.

Conclusion

Le potentiel de la caméra thermique à infrarouge en condition de terrain semble avoir été démontré de façon préliminaire au travers de cette étude. Cet outil pourrait permettre aux apiculteurs et aux vétérinaires d'améliorer le suivi hivernal des colonies. Ces analyses résultent toutefois d'observations préliminaires, de nouvelles sessions de mesures sont à prévoir afin de confirmer ces résultats. En outre les potentiels effets de différents facteurs sur la mesure thermographique obtenue (matériau, taille de la colonie, présence de partitions latérales, température et hygrométrie extérieures) n'ont pas été étudiés ici individuellement. Il est probable que certaines conditions soient plus ou moins favorables à cette prise de mesure ; par exemple, l'isolation de la ruche augmente probablement la survie des abeilles, mais empêche de détecter la chaleur émise. De même, la sensibilité du capteur de la caméra utilisée (et donc plus généralement le prix de l'outil) est un facteur clef de la qualité de l'image obtenue. Malgré la baisse de prix des caméras infrarouges et malgré nos résultats encourageants,

Stabentheiner A, Pressl H, Papst T, Hrassnigg N, Crailsheim K (2003) Endothermic heat production in honeybee winter clusters. *Journal of Experimental Biology* Stabentheiner A,

le rapport coût/bénéfice d'un tel outil pour l'apiculteur pose encore question.

Il serait concevable d'ajuster la méthode pour détecter non pas les essaims trop froids pour être en vie (en dessous de 10°C), mais ceux qui, actifs, ne sont toutefois pas en train d'élever du couvain (qui nécessite une température de 34°C, soit bien au-dessus de la température ambiante au printemps). Cela étendrait l'utilité de l'acquisition d'une caméra infrarouge.

Références bibliographiques

Becher M, Moritz R (2009) A new device for continuous temperature measurement in brood cells of honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie* 40(5), 577-584.

Bromenshenk J. Should an Infrared camera be in your toolkit ? *Bee Culture*. Mars 2016, pp 48-50.

Magnini RM. Thermography. *Bee Culture* mai 2018, pp 57-59.

Mangum WA. Real time watching winter cluster. *Bee Culture*. Sept 2016, pp 29-33.

Shaw JA, Nugent PW, Johnson J, Bromenshenk J, Henderson CB, Debnam S. Long-wave infrared imaging for non-invasive beehive population assessment. *Optics express*. Jan 2011, 19(1):399-408.

Schmaranzer S (1987) Thermographic Determination of Body temperatures in Honey Bees and Hornets : Calibration and Applications. *Thermology* 2, 563-206(2), 353-358.

Lettmann M., Roy C., Beauvais C., Gilles P., Lemoine H., Noireterre P., Vilagines L., Dacher M., Saussac M., Hendriks P., Chauzat M-P. 2021. « Caméra thermique à infrarouge, un nouvel outil apicole pour détecter les mortalités hivernales ? » *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation* 92 (11) : 1-6

Le Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation est une publication conjointe de la Direction générale de l'alimentation et de l'Anses.

Directeur de publication : Roger Genet

Directeur associé : Bruno Ferreira

Directrice de rédaction : Emilie Gay

Rédacteur en chef : Julien Cauchard

Rédacteurs adjoints : Hélène Amar, Jean-Philippe Amat, Céline Dupuy, Viviane Hénaux, Renaud Lailler, Yves Lambert

Comité de rédaction : Anne Brisabois, Benoit

Durand, Françoise Gauchard, Guillaume

Gerbier, Pauline Kooh, Marion Laurent, Sophie

Le Bouquin Leneveu, Elisabeth Repérant,

Céline Richomme, Jackie Tapprest, Sylvain

Traynard

Secrétaire de rédaction : Isabelle Stubljar

Responsable d'édition :

Fabrice Coutureau Vicaire

Anses - www.anses.fr

14 rue Pierre et Marie Curie

94701 Maisons-Alfort Cedex

Courriel : bulletin.epidemiologie@anses.fr

Dépôt légal : parution/ISSN 1769-7166