*Article original / Original Article*

# ForenSeek, un programme de simulation et d'expertise dédié à l'entomologie médico-légale

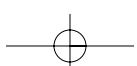
D. CHARABIDZE<sup>1</sup>, B. BOUREL<sup>1,2</sup>, G. MORVAN<sup>3</sup>,  
V. HEDOUIN<sup>1</sup>, D. GOSET<sup>1</sup>

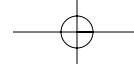
## RÉSUMÉ

L'entomologie médico-légale permet de dater les premières pontes d'insectes sur un corps en calculant l'âge des insectes prélevés, et ainsi d'évaluer le moment de la mort. Cette technique devient particulièrement utile lorsque l'intervalle post mortem (IPM) excède quelques jours, et que les méthodes classiques de médecine légale ne sont plus efficaces. Le projet ForenSeek est un outil informatique d'aide à la décision, dédié à la réalisation de simulations et d'expertises en entomologie médico-légale. Basé sur la simulation par système multi-agents du développement et du comportement des insectes nécrophages, le programme vise à la fois l'obtention d'une estimation étayée de l'IPM à partir de la saisie des données disponibles (prélèvements et données météorologiques notamment), mais également la simulation de différents cas à partir de paramètres initiaux fixés. À terme, cet outil devrait permettre une nette amélioration de la précision et de la rapidité d'estimation de l'IPM et la prise en compte de paramètres nouveaux (compétition, effet des masses de larves, etc.).

**Mots-clés :** Système multi-agents, Intervalle post mortem, Entomologie médico-légale, Comportement, Modélisation.

1. Institut de Médecine Légale et Sociale, Faculté de Médecine, Place de Verdun, 59045 LILLE Cedex (France) damien@forenseek.org  
2. Laboratoire Environnement & Santé, Faculté Libre des Sciences et Technologies, 41, rue du Port, 59046 LILLE Cedex (France).  
3. LGI2A (Laboratoire de Génie Informatique et d'Automatique de l'Artois), Université d'Artois, Faculté des Sciences Appliquées, Technoparc Futura, 62400 BÉTHUNE (France).





## SUMMARY

### *ForenSeek, a Decision Support System Dedicated to Forensic Entomology*

*Forensic entomology focuses on the study of necrophagous insects in the field of criminal investigations, mainly to estimate the time of death. This method is particularly useful in case of post mortem interval (PMI) exceeding some days, when medical examiners become unable to estimate the PMI with accuracy. The ForenSeek project is a computer based decision support system (DSS) dedicated to forensic entomology. The core part of the program is a model of behaviour and development of necrophagous diptera larvae based on a multiagent system (MAS). This concept allows to model complex group behaviours from simple individual data, and thus is particularly well adapted to study insect populations. Moreover, the results of this model are intended to be automatically computed to extract relevant information to estimate post mortem intervals (PMI). In the future, this tool should allow a clear increase of speed and accuracy of entomological forensic expertises.*

**Key-words:** Multi-agent system, Post-mortem interval, Forensic entomology, Behaviour, Modelisation.

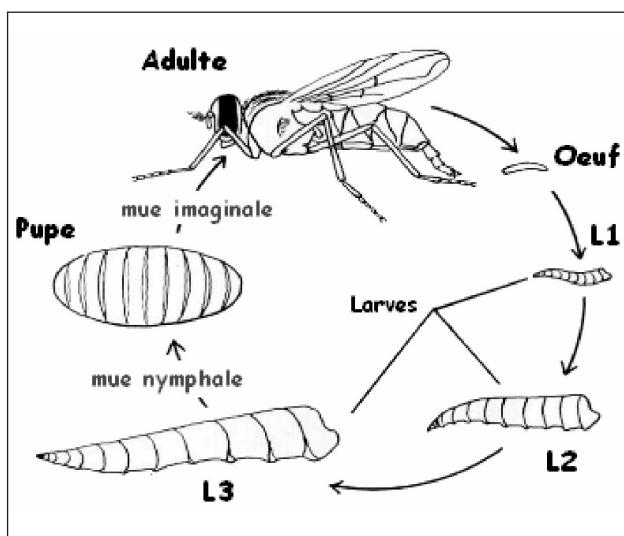
## INTRODUCTION

Lors de la découverte d'un corps, les enquêteurs ont besoin de déterminer précisément la date et l'heure du décès. La médecine légale fournit une information grâce à l'étude sémiologique des critères thanatologiques. Cependant, ces techniques ne sont précises que durant une courte période (environ quarante-huit heures après le décès) et, passé ce délai, l'estimation de l'IPM (intervalle post mortem) devient de plus en plus imprécise [1]. L'entomologie médico-légale s'intéresse à l'utilisation des insectes se développant sur un corps pour dater le décès. Il est en effet possible de calculer l'âge des insectes prélevés, et ainsi de déterminer à quel moment les œufs ont été pondus. Le travail de l'expert spécialiste consiste à identifier les insectes, à calculer leur âge, à corrélérer ces données avec les préférences écologiques et ainsi à déterminer le moment des premières pontes sur le corps.

En 1894, l'entomologiste français J.P. Megnin postula que l'émission d'odeurs différentes au cours des phases successives de décomposition du cadavre attirait huit escouades distinctes d'insectes [2]. Ce principe de succession permettait donc d'associer chaque espèce à une escouade, et chaque escouade à un IPM donné. Cependant, une étude réalisée sur des cadavres de porcelets démontre clairement que beaucoup d'espèces intervenaient durant plusieurs stades de décom-

position et non un seul [3]. Ainsi, sur 17 espèces attirées sur un corps frais, 94 % sont également trouvés durant les deux phases suivantes de décomposition. L'existence de ce continuum, également notée par Smith (1986) ou encore Rodriguez *et al.* (1983) a donc conduit les entomologistes à relativiser l'utilisation des escouades comme méthode de datation du décès [4, 5]. En revanche, le processus d'expertise reposant sur le calcul du temps de développement des insectes a fait l'objet de nombreuses études et permet désormais une estimation précise et fiable de l'IPM [6, 7].

Les diptères ont un cycle de développement holométabole, c'est-à-dire à métamorphose complète : la larve est morphologiquement et écologiquement différente de l'adulte. La femelle pond une grappe d'œufs qui, à l'éclosion, vont donner des larves de premier stade. Après deux mues, les asticots vont se nymphoser et se transformer en pupes (figure 1). La pupe est formée par le tégument de la larve de troisième stade qui se rigidifie et brunit progressivement tandis que la nymphe se métamorphose. La durée de ce cycle de développement est, comme chez la majorité des insectes, dépendant de la température. Il est donc possible de déterminer, à partir des données climatiques du site de découverte du corps, le temps nécessaire au développement des insectes qui y ont été prélevés. On peut alors en déduire la date de leur ponte : si les conditions étaient favorables (température supé-



**Figure 1 : Cycle de développement d'un diptère Calliphoridae.**

rieure à 15°C, corps accessible, etc.), ces premières pontes surviennent quelques minutes après le décès [5]. Dans les autres cas, l'heure estimée des premières pontes fournit un IPM minimum, c'est-à-dire la détermination d'une date à laquelle la victime était déjà décédée.

Même si le cycle de développement des diptères nécrophages suit des règles mathématiques bien connues, la quantité des facteurs qui régissent le phénomène, le caractère aléatoire des mécanismes biologiques ou la pauvreté des échantillons prélevés lors de certaines expertises font qu'il est en pratique quelquefois difficile de déterminer avec précision l'intervalle post-mortem. De plus, certains paramètres tels que le dégagement local de chaleur par les masses de larves, qui influent sur le temps de développement des insectes, sont très délicats à estimer [8]. La modélisation informatique du développement des insectes nécrophages sur un corps a donc été envisagée afin d'améliorer la précision des expertises entomologiques. Elle permet en effet la prise en compte des paramètres comportementaux complexes et l'estimation de l'intervalle de précision des conclusions. Le projet ForenSeek s'intéresse donc à la conception d'un outil d'aide à la décision, basé sur un modèle issu des recherches en intelligence artificielle distribuée, appelé système multi-agents (SMA) [9]. Le programme développé présente de plus une structure à deux niveaux permettant le traitement et la comparaison des résultats issus des simulations pour la réalisation d'expertises.

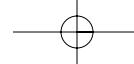
## MATÉRIEL ET MÉTHODE

Le développement du programme a été effectué sous MadKit 4.0 ([www.madkit.org](http://www.madkit.org)), une plateforme libre de développement et d'exécution de systèmes multi-agents. La modélisation par SMA consiste à décrire par un certain nombre de propriétés élémentaires les caractéristiques d'un individu, qui sera représenté dans le programme comme étant un agent (unité élémentaire du système de modélisation). Dans le cas présent, chaque insecte (larve ou adulte) est représenté par un agent. On définit également ses relations avec son environnement et les autres individus : le comportement global du système résulte des interactions entre l'ensemble des agents (c'est-à-dire des individus).

## MODÉLISATION DES INSECTES

Pour chaque espèce, plusieurs propriétés dynamiques caractérisent les agents (larves de diptères nécrophages) :

- ✓ Le taux de développement : la durée de développement des larves étant dépendante de la température, on utilise donc une fonction cumulative (valeur de zéro pour un œuf et de un pour un imago) indiquant l'âge relatif de l'individu. Les données expérimentales disponibles pour chaque espèce ont été modélisées par l'équation de Stinner (1974), qui décrit l'évolution du taux de développement des insectes comme une fonction sigmoïde de la température [10]. On calcule donc pour chaque pas d'une heure la température moyenne ressentie par chaque individu pour en déduire sa vitesse de développement durant cette période. Le taux de développement qui en résulte (vitesse de développement multipliée par la durée) est ajouté aux données précédentes pour déterminer le taux de développement accumulé par l'individu.
- ✓ Le stade : suivant son taux de développement, un agent se définit comme appartenant à un des stades suivants : œuf, larve de stade 1, 2 ou 3, prépupe, pupe ou imago (figure 1). Lorsqu'une larve termine le stade pupe et se transforme en mouche (taux de développement égal à un), elle sort du système et n'est plus prise en compte dans le modèle. De plus, le stade a une



influence directe sur le comportement de l'individu (recherche de nourriture durant les premiers stades mais pas chez les prépupes ni les pupes).

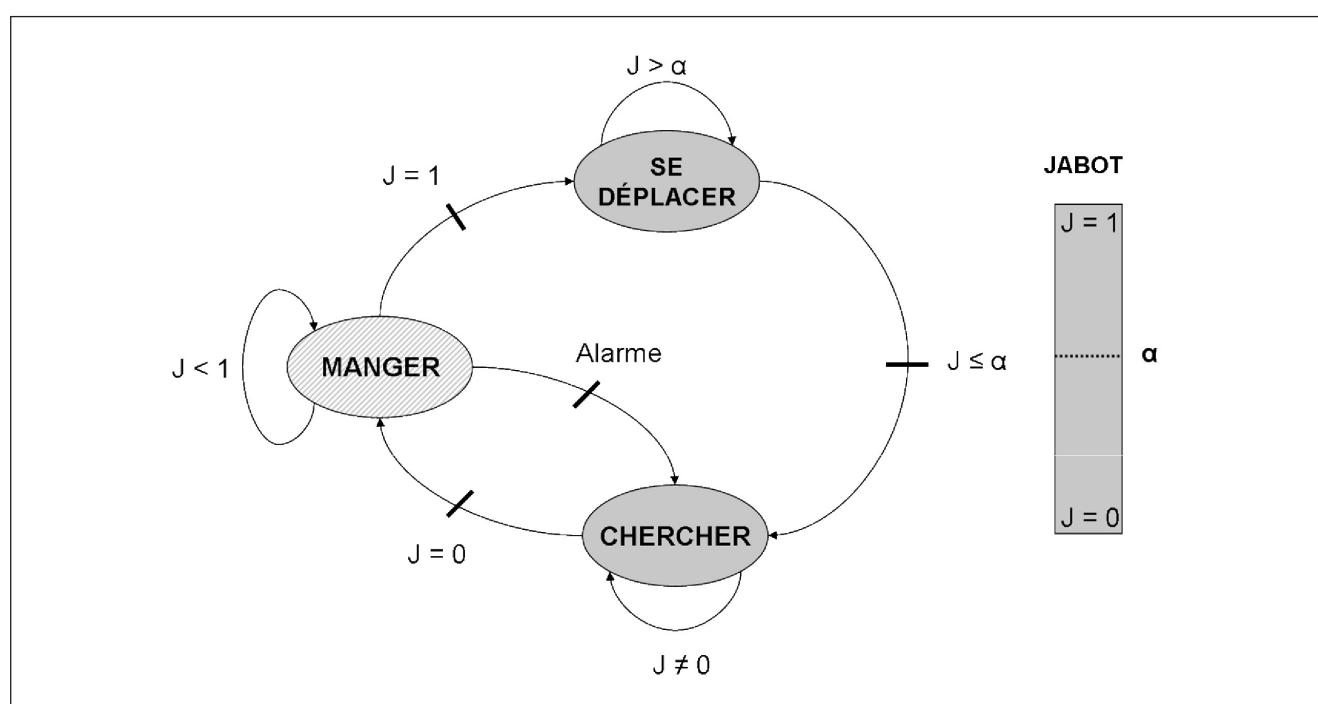
- ✓ Le poids et la taille : ils évoluent avec le taux de développement de l'insecte [11].
- ✓ Les besoins nutritionnels : ils augmentent avec le taux de développement selon une fonction sigmoïde. Durant son développement (hors stades prépupes et pupes), une larve de diptère nécrophage consomme 2,56 fois le poids atteint par la pupe [12].
- ✓ La vitesse de déplacement des larves : elle augmente avec la taille des individus et la température locale  $T_a$  selon une relation logarithmique [13].

Les œufs sont placés sur le corps selon un modèle de ponte : absence de pontes la nuit, variations de la période d'attractivité du corps selon les espèces, nombre d'œufs et lieu de dépôt, etc. [14]. Ce modèle dépend de la probabilité de présence des insectes dans le milieu. Les espèces actuellement prises en compte dans le modèle étant toutes précoces dans la colonisation des corps (espèces de la première escouade), leurs préfé-

rences écologiques sont similaires. Le nombre d'œufs déposés par ponte est de  $250 \pm 35$  et les pontes ont lieu entre une heure et huit jours après le décès, ce qui correspond aux valeurs moyennes observées en conditions naturelles [15].

Le comportement des larves a été modélisé d'après les observations réalisées sur le terrain. Il se présente comme un cycle continu durant lequel l'individu cherche à s'alimenter, puis à se déplacer (figure 2). Le niveau de remplissage du jabot ( $J$ ) détermine les transitions et donc les changements d'objectifs de l'individu. Cette structure, observable en face dorsale chez les asticots, constitue une sorte d'estomac contenant la nourriture ingérée (figure 3). Seule la phase « manger » est immobile. Les larves en phase « déplacer » recherchent les zones chaudes tandis que celles en phase « agréger » recherchent le signal émis par les autres individus. Le comportement « alarme » correspond à l'absence de nourriture ou à une température trop élevée.

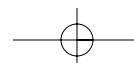
Le passage d'une phase à l'autre est donc déterminé par le remplissage du jabot, utilisé dans le modèle comme un compteur. Notre modèle postule que lorsque son jabot est rempli ( $J=1$ ), une larve cesse de s'alimenter et se déplace vers les zones chaudes

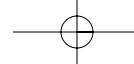


*Figure 2 : Modélisation du cycle comportemental d'une larve de Diptère nécrophage.*

$J$  = niveau de remplissage du jabot ;

$\alpha$  = seuil de déclenchement du comportement de recherche de nourriture.





de son environnement. Ses réserves diminuent alors progressivement (digestion) jusqu'à passer sous un seuil  $\alpha$ , qui déclenche le changement de comportement. Les larves cherchent alors une zone où d'autres larves sont en train de s'alimenter afin de pouvoir se joindre à un groupe. En effet, un des aspects fondamentaux du comportement des larves de diptères Calliphoridae est le grégarisme. Ce comportement social peut être défini comme la tendance des individus à se regrouper, voire à favoriser ce comportement par rapport à d'autres stimuli environnementaux [16]. Chez les asticots, ce comportement se traduit par la formation de masses de larves pouvant atteindre plusieurs millions d'individus. Ce phénomène est observable dès le stade L1 et jusqu'au stade prépupe, c'est-à-dire durant toute la phase où les insectes se nourrissent sur le corps. La présence simultanée d'un très grand nombre d'individus émettant une très faible chaleur du fait de leur métabolisme peut conduire à des augmentations locales de températures extrêmement importantes : Greenberg (1991) relate une observation de 18°C supérieure à la température extérieure, tandis que Turner mentionne une température de 40°C au sein d'une masse de larves [17, 18]. De telles augmentations de température ont donc un effet direct sur la vitesse de développement des insectes et doivent être prises en compte dans l'estimation de la température ressentie par les larves. Lorsque la larve a trouvé un groupe et que son jabot est vide ( $J=0$ ), elle

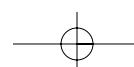
s'arrête et s'alimente jusqu'à ce que son jabot soit à nouveau rempli ( $J=1$ ).

Le comportement d'une larve est donc à la fois déterminé par son état physiologique et par les stimuli qu'elle perçoit en provenance de l'environnement et des autres agents. Afin de modéliser simplement ces phénomènes, plusieurs postulats sont posés :

- ✓ Chaque individu (larve) possède un jabot ( $J$ ) reflétant son état physiologique. La cinétique (alimentation et digestion) de ce jabot est une fonction linéaire de la température. En dessous de la température minimale d'activité (10°C) et lorsque la température atteint le seuil léthal (45°C), cette fonction devient nulle.
- ✓ Chaque larve se nourrissant émet un signal d'agrégation attractif pour les autres individus. L'intensité du signal dépend à la fois de la quantité de larves présentes et des ressources alimentaires disponibles dans cette zone. Cette approche traduit la compétition locale entre des individus qui essaient d'acquérir le plus de nourriture possible le plus rapidement possible [12, 19, 20]. La nature physico-chimique du signal portant le comportement d'agrégation n'a pas encore été déterminée, bien que plusieurs résultats laissent supposer l'implication de phéromones.



**Figure 3 : Masse de larves de diptères Calliphoridae sur un corps. La tache sombre entourée est la partie du tube digestif appelée jabot, visible par transparence.**



- ✓ Chaque larve émet de la chaleur tant que son métabolisme reste actif ( $J \neq 0$ ) [8, 21].
- ✓ La température ressentie par les larves est la température de leur environnement immédiat [22].

## **DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT**

Les larves évoluent dans un environnement en deux dimensions simulant un cadavre. Cette surface est divisée en cellules carrées de deux centimètres de côté caractérisées par un ensemble de propriétés : la densité des tissus (variant de zéro pour l'extérieur à un pour les os), la température locale  $T_a$  (perçue par les larves) et la quantité de ressources disponible. La température locale  $T_a$  résulte d'une transformation de la température extérieure  $T_e$  : le corps présentant une certaine inertie du fait de sa masse, les données climatiques extérieures sont recalculées pour chaque cellule par la formule de Henssge [23, 24]. Cette équation, fréquemment utilisée en médecine légale, tient notamment compte de la masse du corps et donc de sa relative inertie thermique. Elle repose sur les lois de refroidissement de Newton afin de prédire la réponse d'un corps aux changements de température  $T_e$  de son environnement. La figure 4 représente l'évolution de la température rectale d'un cadavre de porc de 30 kg placé en extérieur (sous abri) du 10 au 14 octobre 2007 sur le site de l'Institut de Médecine Légale de Lille. La température interne enregistrée diffère significativement de la température extérieure, car le corps amortit l'amplitude des variations et réagit avec un certain délai. Cette relation, prise en compte dans le modèle, est dépendante de la masse du corps : elle varie donc dans le temps au fur et à mesure que les agents consomment les ressources locales. Par conséquent, l'environnement virtuel dans lequel se développent les larves rend compte de l'inertie du corps aux changements de température.

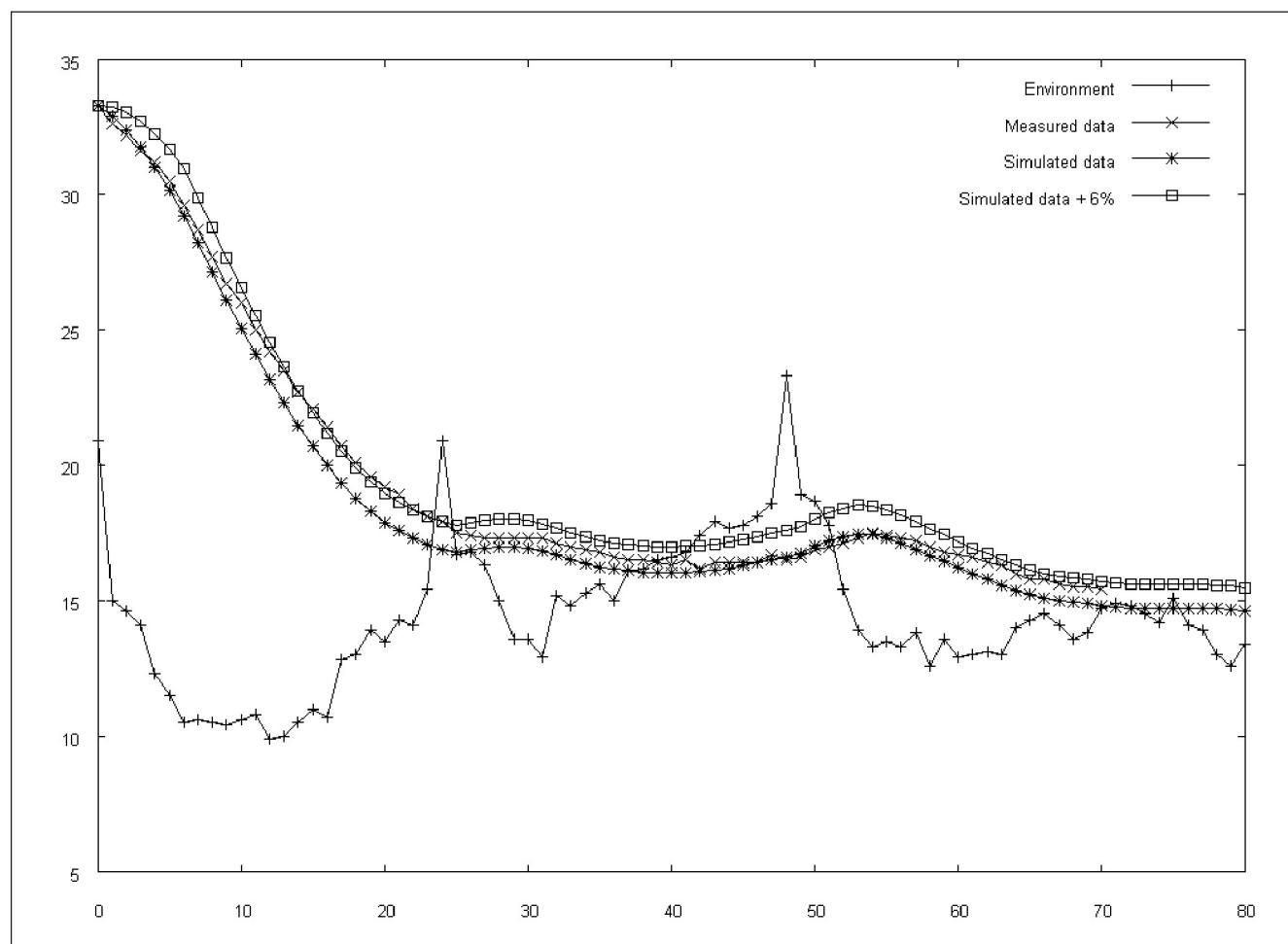
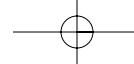
Le principal objectif de la modélisation du développement des insectes nécrophages sur un corps est le traitement des données pour la réalisation d'expertises. Ce processus d'analyse, actuellement en cours de développement, est effectué par une surcouche logicielle appelée contrôleur : le contrôleur utilise les résultats numériques et qualitatifs des simulations pour les comparer aux prélèvements effectués sur le corps, et en déduire la validité du scénario utilisé pour la simulation. Plus la similitude entre simulation et prélève-

ments est importante, plus le scénario est cohérent et donc les hypothèses initiales utilisées proches de la réalité. Ainsi, une simulation lancée au temps  $t_0$  est d'autant plus valide que l'état du système au temps  $t_n$  correspondant à la découverte du corps est similaire (stade de développement des insectes, espèces prélevées, abondance, état du corps, etc.) aux prélèvements effectués sur le cadavre. On associe alors à  $t_0$  un fort indicateur de plausibilité. La répétition de ce processus sur l'ensemble de la période allant de la disparition de la victime (vérifiée lors de l'enquête de police) à la découverte du corps permet de déterminer quelle hypothèse  $t_0$  est la plus compatible et donc d'estimer le moment du décès. La courbe obtenue mesure la compatibilité entre les résultats de la simulation et les prélèvements analysés. Plus cet indice est grand, plus la probabilité que la victime soit morte à ce moment est élevée. On peut donc placer un intervalle de confiance recouvrant la zone où la probabilité de décès est la plus forte. Cette démarche de comparaison peut être appliquée directement aux prélèvements effectués sur le corps, ou à partir des dates d'émergences enregistrées pour les insectes placés en élevage.

## **RÉSULTATS**

On observe lors des simulations que les larves s'agrègent rapidement et forment une masse compacte : la figure 3 illustre ce comportement avec des agents initialement disséminés aléatoirement. En réponse au niveau de remplissage de leur jabot, les agents se déplacent au sein du groupe. De ce fait, la masse dans son ensemble évolue dans l'environnement au fur et à mesure qu'elle consomme les ressources disponibles. De plus, le dégagement de chaleur de chaque individu conduit à une augmentation de température au centre de la masse pouvant aller jusqu'à une quinzaine de degrés. Cette augmentation locale entraîne un développement plus rapide des individus qui se trouvent au centre de l'agrégrat, phénomène partiellement compensé par le turn-over des individus au sein de la masse. Ces « vécus » différents entre individus se traduisent par une désynchronisation des agents pourtant issus d'une même ponte.

On constate également l'émergence du phénomène de thigmotactisme, fréquemment rencontré *in vivo* (observation personnelle). Il s'agit d'une tendance spontanée des individus à maximiser leur surface de contact, notamment avec les parois de leur environnement. Ainsi, en absence de nourriture, les agents se



**Figure 4 : Mesures thermiques sur un cadavre de porc de 30 kg placé en extérieur : « environnement » = enregistrement de la température ambiante ; « measured data » = température rectale ; « simulated data » = modélisations de la température rectale, « simulated data +6 % » = modélisations de la température au centre du cadavre.**

trouvant à proximité de la bordure de l'espace virtuel dans lequel ils évoluent sont attirés par celle-ci, et plus particulièrement par les angles où le contact est maximal.

Concernant le système d'expertise et d'aide à la décision, les résultats préliminaires confirment la validité de la démarche. Sur la base des prélèvements effectués sur le corps (espèces et stades) ou des dates d'émergence des insectes placés en élevage, le programme est actuellement en mesure de fournir une estimation du moment de la ponte. Cette estimation peut être réalisée en utilisant différentes sources de données pour le calcul des temps de développement [7, 10, 25]. Bien que des validations complémentaires demeurent nécessaires, les résultats préliminaires confirment la nécessité de développer de nouveaux outils d'aide à l'ex-

pertise en entomologie médico-légale. Il apparaît en effet clairement au vu des résultats que le choix des données utilisées pour le calcul du temps de développement des larves influe sur l'estimation de l'IPM, de même que la prise en compte de l'inertie thermique du cadavre et de l'effet des masses de larves (figure 5).

## DISCUSSION

Les simulations réalisées donnent des résultats particulièrement probants : le comportement des larves virtuelles correspond aux observations effectuées en conditions réelles, et ce pour les différents types d'environnements et de conditions initiales testés. Ainsi, l'apparition d'un mouvement perpétuel des individus

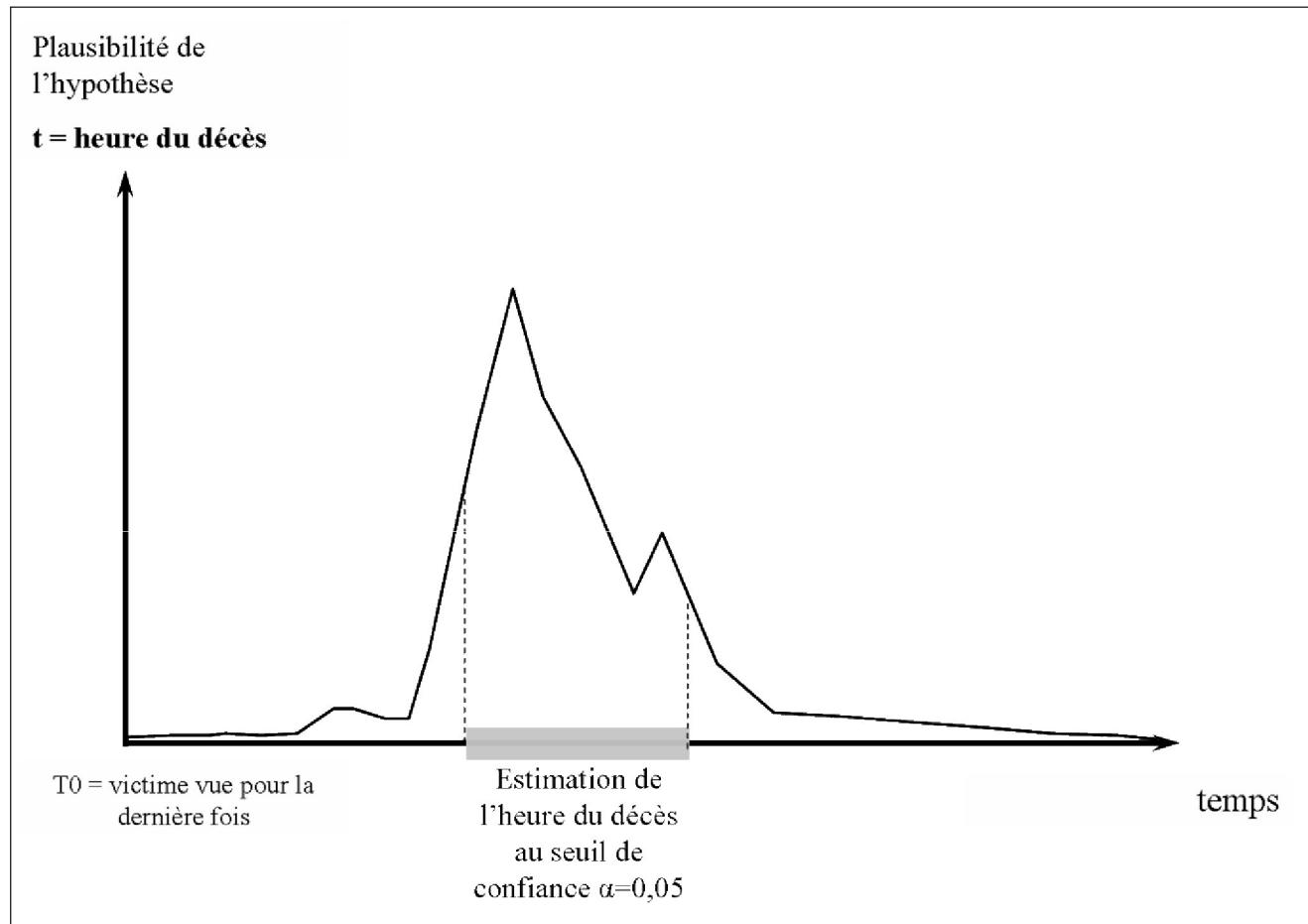
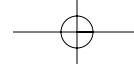


Figure 5 : Représentation schématique de la courbe de réponse obtenue à l'issue d'un ensemble de simulations.

au sein de la masse de larves est parfaitement reproduite par le modèle. De plus, l'existence d'une zone de forte chaleur au centre des masses de larves correspond également aux observations mentionnées dans la littérature [8, 17, 26]. Enfin, il est particulièrement intéressant de noter que l'apparition du phénomène de thigmotactisme, bien décrit dans les études précédentes sur le déplacement de Miller (1929) et de Hafez (1948), n'a pas été programmé spécifiquement dans leur comportement [13, 22]. Il s'agit d'un comportement émergent, c'est-à-dire d'un comportement global ne pouvant être déduit des caractéristiques initiales des agents. Bien que des validations complémentaires soient nécessaires, ces résultats soulignent le réalisme du modèle de simulation développé.

La première application du modèle réside dans la possibilité de simuler le développement d'insectes sur un corps en conditions contrôlées, sans avoir recours à l'expérimentation animale. En effet, ce type

d'étude est habituellement réalisé sur des carcasses de porc ou des cadavres humains, ce qui pose un certain nombre de problèmes sanitaires et éthiques [27]. À terme, le développement d'un « laboratoire virtuel » basé sur des simulations informatiques permettra de réaliser une partie de ces études virtuellement, et de disposer de plans expérimentaux prévisionnels adaptés.

Le développement de la seconde couche du logiciel, permettant de raisonner sur les résultats des simulations afin de déterminer l'IPM le plus probable, est actuellement en cours. Le système permet déjà de générer automatiquement des simulations, de tester l'adéquation des résultats obtenus avec les prélèvements effectués sur le corps, et d'adapter les conditions initiales de simulation afin d'obtenir des simulations concordantes avec les prélèvements. Le contrôleur est donc capable de vérifier quelles simulations, et donc quelles conditions initiales (moment

du décès), sont compatibles avec les règles générées (dépendantes des insectes retrouvés sur le corps), et ainsi d'estimer le degré de compatibilité de chaque simulation. Plus la similitude entre les résultats d'une simulation et les prélèvements est importante, plus le scénario sera considéré comme « cohérent » et donc les hypothèses initiales utilisées proches de la réalité. Cet outil d'aide à l'expertise permet également de confronter plusieurs méthodes de calcul et de tester l'effet de différents paramètres de l'écosystème sur l'estimation de l'IPM. Il apporte ainsi un niveau de précision et de fiabilité supplémentaire à l'analyse. De plus, les prélèvements effectués sur un corps n'étant pas toujours complets et représentatifs, et les données décrivant l'abondance des larves ou l'état du corps étant par nature imprécises et délicates à estimer, le contrôleur devrait à terme se baser sur une technique de logique floue permettant de traiter des données incertaines et de prendre en compte cette incertitude dans le processus d'analyse et de décision. Cependant, la méthode employée est encore à l'état de prototype : elle nécessite une grande puissance de calcul et ne permet pas un traitement simple des résultats.

## CONCLUSION

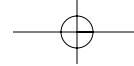
L'utilisation d'un système multi-agents pour simuler le développement des larves de diptères nécrophages sur un corps fait émerger des comportements à la fois complexes et fidèles à la réalité. Les données issues de ces simulations peuvent être traitées à la fois de manière qualitative, pour l'étude et la description de certains comportements par exemple, et quantitative (par le programme d'expertise notamment). Ils pourront à terme être analysés de manière entièrement automatisée grâce à un système expert afin de disposer d'un véritable outil d'aide à la décision permettant de réaliser des expertises entomologiques plus rapides, plus précises et plus fiables.

## REMERCIEMENTS

*Les auteurs tiennent à remercier pour leurs conseils et avis les Docteurs. Gilles Tournel et C. Houssaye ainsi que Messieurs Alexandre Veremme et Daniel Dupont. Cette recherche a été financée par la Fondation Norbert Segard.*

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] KASHYAP V.K., PILLAY V.V. – Efficacy of entomological method in estimation of postmortem interval : a comparative analysis, *F. Science Int.*, 1989, 40, 3, 245-50.
- [2] MEGNIN J.P. – *La faune des cadavres : application de l'entomologie à la médecine légale*, ed G. Masson, 1894.
- [3] PAYNE J.A. – A summer carrion study of the baby pig Sus scrofa Linnaeus, *Ecology*, 1965, 46, 5, 592-602.
- [4] SMITH K.G.V. – *A manual of forensic entomology*, 1986, ed Trustees of the British Museum (Natural history), London.
- [5] WYSS C., CHERIX D. – *Traité d'entomologie forensique*, ed PPUR, 2006.
- [6] BYRD J.H. – *Castner Forensic entomology : the utility of arthropods in legal investigations*, ed CRC Press LLC, 2001.
- [7] MARCHENKO M.I. – Medico-legal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time since death, *Acta Med. Leg. Soc.*, 1988, 38, 1, 257-302.
- [8] SLONE D., GRUNER S. – Thermoregulation in larval aggregations of carrion-feeding blow flies (Diptera : Calliphoridae), *J. Med. Entomology*, 2007, 44, 3, 516-523.
- [9] GUTKNECHT O., FERBER J. – Un méta-modèle organisationnel pour l'analyse, la conception et l'exécution de systèmes multi-agents, Actes JFIADSMA. 1998.
- [10] STINNER R.E., GUTIERREZ A.P., BUTLER G.D. – An algorithm for temperature-dependent growth rate simulation, *Canadian Entomology*, 1974, 106, 519-524.
- [11] WELLS J.D., LAMOTTE L.R. – Estimating maggot age from weight using inverse prediction, *J. Forensic Science*, 1995, 40, 4, 585-590.
- [12] PUTMAN R.J. – Dynamics of the Blowfly, Calliphora erythrocephala, within carrion, *J. Animal Ecology*, 1977, 46, 853-866.
- [13] MILLER D.F. – Determining the effects of change in temperature upon the locomotor movements of fly larvae, *J. Exp. Zoology*, 1929, 52, 2, 293-313.
- [14] BYRD J.H., ALLEN J.C. – Computer modeling of insect growth and its application to forensic entomology, in *Forensic entomology : the utility of arthropods in legal investigations*, Boca Raton, Florida, 2001.
- [15] PITTS K.M., WALL R. – Adult mortality and oviposition rates in field and captive populations of the blowfly Lucilia sericata, *Ecological Entomology*, 2004, 29, 6, 727-734.
- [16] AME J.M., HALLOY J., RIVAUT C., DETRAIN C., DENEUBOURG J.L. – Collegial decision making based on social amplification leads to optimal group formation, *PNAS*, 2006, 103, 15, 5835-40.



- [17] GREENBERG B. – Flies as forensic indicators, *J. Med. Entomology*, 1991, 28, 5, 565-77.
- [18] TURNER B., HOWARD T. – Metabolic heat generation in dipteran larval aggregations : a consideration for forensic entomology, *Med. Vet. Entomology*, 1992, 6, 2, 179-81.
- [19] DOS REIS S.F., VON ZUBEN C.J., GODOY W.A.C. – Larval aggregation and competition for food in experimental populations of Chrysomya putoria (Wied.) and Cochliomyia macellaria (F.) (Dipt., Calliphoridae), *J. Applied Entomology*, 1999, 123, 8, 485-489.
- [20] MOE S., STENSETH J., CHR N., SMITH R.H. – Density dependence in blowfly populations : experimental evaluation of non-parametric time-series modelling, *Oikos*, 2002, 98, 3, 523-533.
- [21] RUF C., FIEDLER K. – Thermal gains through collective metabolic heat production in social caterpillars of *Eriogaster lanestris*, *Naturwissenschaften*, 2000, 87, 4, 193-196.
- [22] HAFEZ M. – On the behaviour and sensory physiology of the house-fly larva, *Musca domestica* L. I. Feeding stage, *Parasitology*, 1948, 40, 215-236.
- [23] HENSSGE C. – Death time estimation in case work. 1. The rectal temperature time of death nomogram, *F. Science Int.*, 1988, 38, 209-236.
- [24] HENSSGE C. – Rectal temperature time of death nomogram : dependence of corrective factors on the body weight under stronger thermic insulation conditions, *F. Science Int.*, 1992, 54, 51-66.
- [25] GRASSBERGER M., REITER C. – Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera : Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen and isomorphen diagram, *F. Science Int.*, 2001, 120, 32-36.
- [26] DEONIER C.C. – Carcass temperature and their relation to winter blowfly populations and activity in the southwest, *J. Economic Entomology*, 1940, 33, 1, 166-170.
- [27] SHAHID S.A., SCHOENLY K., HASKELL N.H., HALL R.D., ZHANG W. – Carcass enrichment does not alter decay rates or arthropod community structure : a test of the arthropod saturation hypothesis at the anthropology research facility in Knoxville, Tennessee, *J. Med. Entomology*, 2003, 40, 4, 559-69.