

UN TOP MODÈLE POUR ESTIMER L'HEURE DE LA MORT

RESUME

Dans cet article, nous décrivons d'abord les méthodes usuelles mises à disposition des médecins légistes pour estimer le délai post-mortem puis nous présentons les premiers résultats acquis par l'auteur dans le cadre du **projet TIC-TAC**, dont l'objectif est d'améliorer cette estimation dans le cas d'une mort récente en environnement complexe.

INTRODUCTION

Un problème difficile rencontré lors d'une enquête criminelle concerne l'estimation du « **délai post-mortem** » (DPM), c'est-à-dire la date de la mort d'un individu. Cette preuve médico-légale, qui doit être la plus précise possible, est importante car elle permet aux enquêteurs d'orienter leur enquête, par exemple, en disculpant un suspect qui ne pouvait pas se trouver sur les lieux du crime au moment des faits.

A la mort, en raison de l'arrêt des phénomènes d'homéothermie, la température corporelle **décroît progressivement** (en climat tempéré) jusqu'à atteindre l'équilibre thermique avec la température ambiante. Très grossièrement, après un plateau thermique de quelques heures, la température du corps décroît d'environ 1°C par heure et il faut typiquement 24 heures pour atteindre cet équilibre. Cette décroissance dépend en fait de **nombreux facteurs** liés au cadavre et à son environnement. Dans les revues spécialisées, on trouve différents modèles numériques ou abaques permettant d'estimer le délai post-mortem à partir de la température corporelle et de la température ambiante prises sur les lieux par les enquêteurs. Ces **modèles thermométriques** reposent sur les **lois de transferts thermiques** entre le corps et son environnement mais ils ne tiennent pas compte simultanément de toutes les interactions mises en jeu et ne reproduisent donc pas fidèlement la diversité des situations rencontrées. Parmi les facteurs influençant les courbes de déperdition de chaleur, on trouve notamment :

- l'inhomogénéité de forme et de constitution du cadavre ;
- la température corporelle avant la mort ;
- le pouvoir isolant des vêtements ou de la literie, ralentissant les pertes thermiques ;

- la convection thermique entre le corps et le milieu extérieur ;
- la conduction thermique à travers le support sur lequel repose le cadavre ;
- les transferts de chaleur par rayonnement ;
- les variations de la température ambiante ;
- les mouvements de l'air, qui accélèrent les pertes thermiques par convection ;
- le taux d'hygrométrie de l'air, qui augmente les pertes thermiques ;
- la nature du milieu environnant, la déperdition de chaleur étant plus rapide dans l'eau que dans l'air.

Dans le cas d'une mort récente (DPM < 24h), les médecins légistes disposent de **différentes méthodes** plus ou moins précises pour estimer le délai post-mortem. Ces méthodes peuvent se révéler difficiles, voire impossibles, à utiliser selon la complexité des faits et/ou de l'environnement:

La méthode de Vuibert (1903)

Cette méthode qualitative se base sur une **observation directe du corps** [1] :

- corps chaud, souple, sans lividités : la mort remonte au plus à 6 ou 8 heures ;
- corps tiède, rigide, lividités disparaissant par simple pression du doigt : la mort remonte de 6 à 12 heures ;
- corps froid, rigide, lividités très accentuées, immuables, putréfaction non commencée : la mort date de 24 à 48 heures ;
- rigidité disparue, tache verte abdominale : la mort date de plus de 36 heures.

Les méthodes thermométriques

Ces méthodes quantitatives sont basées sur les **lois de transferts thermiques** afin de simuler l'évolution de la température corporelle du cadavre jusqu'à son équilibre thermique avec la température ambiante. Elles permettent d'estimer le délai post-mortem après avoir mesuré sur les lieux la température corporelle et la température ambiante. En comparaison, l'évolution de la température rectale, hépatique ou tympanique du cadavre constitue le critère le plus utilisé pour estimer le délai post-mortem dans le cas d'une mort récente.

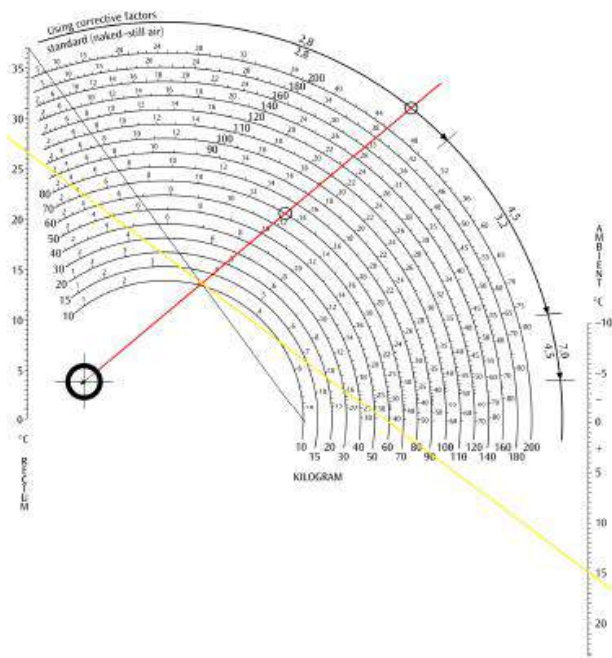


Figure 2 : Nomogramme de Henssge utilisé pour estimer l'heure de la mort [4].

Le **modèle de Henssge** [2,3] développé en 1988 à partir des travaux de Marshall et Hoare [5] est fondé sur une fonction bi-exponentielle pour décrire l'évolution de la température rectale du cadavre jusqu'à son équilibre thermique avec la température ambiante. Dès l'arrivée sur les lieux, le médecin légiste doit mesurer la température rectale et la température ambiante. Ces mesures permettent d'estimer graphiquement le délai post-mortem en utilisant des abaques appelées **nomogramme de Henssge** (voir figure 1). Un facteur correctif peut être apporté au modèle pour prendre en compte les effets du vent et/ou des vêtements [2,6]. Bien que cette méthode soit considérée comme un « **gold standard** », elle présente quelques limites. En effet, ce modèle n'est valable que si la température ambiante est constante, il n'est valide que pour des masses de 50 à 80 kg, la taille et la position du corps ne sont pas prises en compte et son application est limitée au calcul de la température rectale. En outre, même dans les cas les plus favorables, l'heure de la mort est estimée avec une incertitude de $\pm 2,8h$ [2-4].

Le modèle proposé par Mall et Eisenmenger en 2005 [7,8] est basé sur une modélisation des flux de chaleur par la **méthode des éléments finis**. Le corps humain est représenté en trois dimensions et les modes de transferts thermiques par conduction, convection et rayonnement sont pris en compte ainsi que l'élévation de la température du cadavre due aux processus biochimiques apparaissant après la mort. Ce modèle a été calibré et validé en utilisant les travaux empiriques de Marshall et Hoare [5,9,10]. Ce modèle permet de prendre en compte les variations de la température ambiante mais son niveau de précision requiert une parfaite description du corps et de son environnement. Le modèle proposé par Charabidze en 2010 [11] utilise un **réseau d'automates cellulaires** pour simuler la température post-mortem en tenant compte des variations de la température ambiante. Le corps humain est représenté en deux dimensions selon une coupe latérale. Les résultats numériques obtenus ont été comparés aux estimations du délai post-mortem prédites par le nomogramme de Henssge pour tester la validité de celui-ci dans le cas où la température ambiante varie. L'auteur montre que le modèle de Henssge ne peut plus

être utilisé lorsque la température ambiante varie, même faiblement (4°C sur 24 heures). Le comportement du modèle a aussi été confronté à des mesures effectuées en conditions semi-contrôlées (température ambiante variable) sur un cadavre de porc montrant une bonne concordance entre les résultats numériques et expérimentaux.

En pratique, les **difficultés d'appréciation** du délai post-mortem sont nombreuses en raison, notamment, de la complexité des pertes thermiques mises en jeu et de l'appréciation des paramètres nécessaires à l'utilisation des modèles thermométriques. Pour réduire l'erreur, les résultats obtenus par le nomogramme de Henssge peuvent être combinés à ceux donnés par d'autres méthodes basées, notamment, sur l'excitabilité musculaire, l'étude des lividités et des rigidités cadavériques [4,12].

Lorsque l'état de putréfaction est avancé ou lorsque l'équilibre thermique est atteint, la datation de la mort par l'utilisation d'une méthode thermométrique n'est plus applicable. La **méthode entomologique** peut alors être exploitée [13,14]. Celle-ci est fondée sur l'ordre d'arrivée des différentes escouades d'insectes sur le cadavre et peut alors être utilisée pour déterminer le délai post-mortem. Le moment auquel la personne a été vue ou entendue vivante pour la dernière fois, l'existence de documents datés comme les courriers sont des éléments qui peuvent aussi être utilisés en complément des examens scientifiques pour déterminer la date de la mort.

PROJET TIC-TAC

Le **projet TIC-TAC**, développé depuis la rentrée 2016 par le Laboratoire Pluridisciplinaire de Criminalistique en partenariat avec un groupe d'apprentis ingénieurs de l'ENSAM, a pour ambition de fournir aux enquêteurs une nouvelle méthode thermométrique leur permettant d'estimer avec une erreur raisonnable ($\pm 1-2h$) le délai post-mortem dans le cas d'une mort récente en environnement complexe (voir figure 2). En exploitant les moyens informatiques modernes mis à la disposition de la communauté scientifique (centres de calculs, *etc.*) et les outils développés dans le domaine émergent du **big data**, les chercheurs engagés dans ce projet espèrent modéliser numériquement par la **méthode des éléments finis**, la décroissance de la température d'un cadavre au cours du temps dans le cas d'une mort récente en tenant compte des nombreux facteurs intervenant dans les situations réelles (voir plus haut).

Principe de la méthode des éléments finis

Sans entrer dans les détails techniques, précisons que dans le cadre de cette méthode, le corps humain est représenté en trois dimensions et est discrétisé en un grand nombre de sous-domaines de forme triangulaire appelés « éléments finis ». Dans chacun de ces éléments, on approxime les variables inconnues d'intérêt (température, etc.) afin de transformer l'équation de la chaleur (équation aux dérivées partielles), décrivant les variations de la température au cours du temps en chacun des points du corps, en une équation algébrique très simple à résoudre.

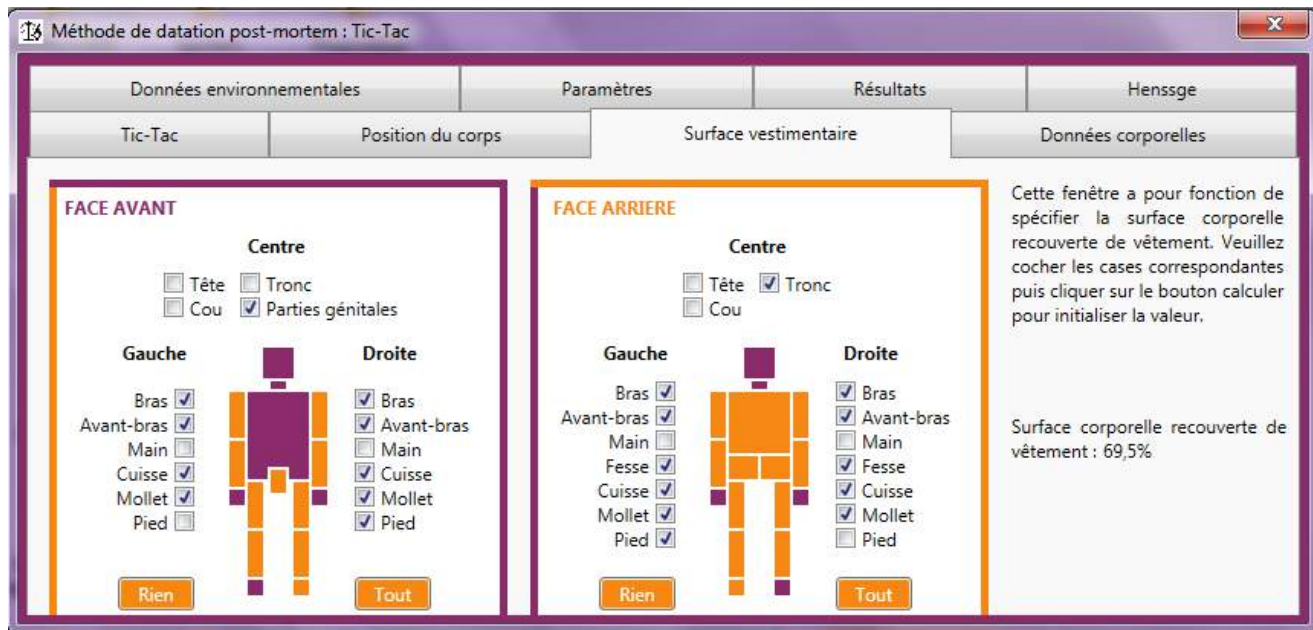


Figure 3 : Interface utilisateur du logiciel développé par le Laboratoire Pluridisciplinaire de Criminalistique et l'ENSAM pour estimer l'heure de la mort.

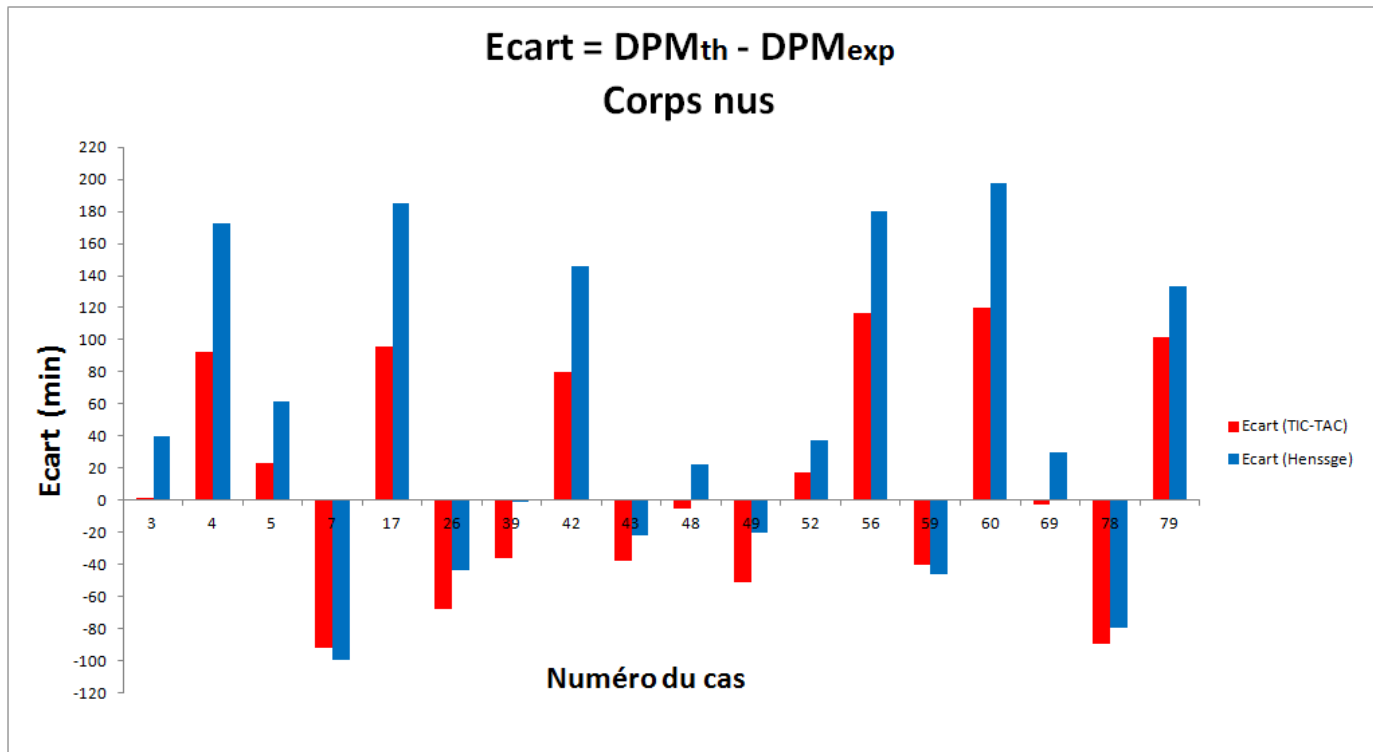


Figure 4 : Comparaison des écarts obtenus à partir du modèle TIC-TAC (en rouge) et du modèle de Henssge (en bleu) en considérant les cadavres totalement nus de la base de données [15].

Résultats

Nos premières estimations obtenues dans le cadre du projet TIC-TAC ont été comparées aux résultats observés issus de 84 cadavres dont l'heure de la mort est connue. Pour chacun des cas étudiés : la taille, la masse, la température ambiante, la température rectale et le type de vêtement porté par le cadavre ont été compilés dans une base de données développée par une équipe allemande entre 2003 et 2008 [15].

La figure 3 montre les écarts (différence entre les heures de la mort prédite et observée) obtenus à partir du modèle TIC-TAC et la méthode de Henssge en considérant les cadavres totalement nus. Nous avons trouvé un écart absolu moyen d'environ 60 min en utilisant le modèle TIC-TAC et de 85 min par la méthode de Henssge, indiquant une **meilleure exactitude** de notre modèle par rapport à celui de Henssge. Cette conclusion a pu être maintenue en considérant la totalité des cas de la base de données (corps nus, peu et chaudement habillés), où nous avons trouvé, avec notre modèle, un écart absolu maximal d'environ deux heures par rapport au délai post-mortem réel. Fort de ces résultats encourageants, d'autres tests sont en cours afin d'améliorer et de

valider rigoureusement notre modèle, notamment pour prendre en compte aussi les variations de la température ambiante.

Une **application simple et intuitive** téléchargeable sur smartphones est en développement. Celle-ci permettra aux enquêteurs et médecins légistes d'estimer directement sur les lieux le délai post-mortem avec une bonne précision pour des cadavres frais et ainsi d'orienter rapidement l'enquête en disculpant, par exemple, un suspect qui ne pouvait pas se trouver sur les lieux au moment du crime.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Vibert CH. Précis de médecine légale, 1890.
- [2] Henssge C. Death time estimation in case work. I. The rectal temperature time of death nomogram. *Forensic Sci Int*, 38 (1988) 209-236.
- [3] C. Henssge, B. Madea. Estimation of the time since death in the early post-mortem period. *Forensic Science International*, 144 (2004) 167-175.
- [4] B. Madea. Methods for determining time of death. *Forensic Sci. Med. Pathol* (2016).
- [5] Marshall TK, Hoare FE. Estimating the time of death-the rectal cooling after death and its mathematical expression. *J Forensic Sci*, 7 (1962) 56-81.
- [6] Henssge C. Rectal temperature time of death nomogram : dependence of corrective factors on the body weight under stronger thermic insulation conditions. *Forensic Sci Int*, 54 (1992) 51-66.
- [7] Mall G, Eisenmenger W. Estimation of time since death by heat-flow Finite-Element model. Part I : method, model, calibration and validation. *Legal Med*, 7 (2005) 1-14.
- [8] Mall G, Eisenmenger W. Estimation of time since death by heat-flow Finite-Element model. Part II : application to non-standard cooling conditions and preliminary results in practical casework. *Legal Med*, 7 (2005) 69-80.
- [9] Marshall TK, Hoare FE. Estimating the time of death-the use of the cooling formula in the study of postmortem cooling. *J Forensic Sci*, 7 (1962) 189-210.
- [10] Marshall TK, Hoare FE. Estimating the time of death-the use of body temperature in estimating the time of death. *J Forensic Sci*, 7 (1962) 211-21.
- [11] D. Charabidze, A. Veremme, G. Morvan, V. Hedouin, D. Gosset. Postmortem rectal temperature modelisation in fluctuating thermal environment. *La revue de médecine légale* (2010), 1, 61-65.
- [12] C. Henssge, L. Althaus, J. Bolt, A. Freislederer, H.-T. Haffner, C. A. Henssge, B. Hoppe, V. Schneider. Experiences with a compound method for estimating the time since death. II. Integration of non-temperature-based methods. *Int J Legal Med*, 113 (2000) 320-331.

[13] P. Megnin. La faune des cadavres. Application de l'entomologie à la médecine légale. Paris : Masson, Encyclopédie scientifique des aides mémoires Léauté, 1894

[14] Greenberg B. Flies as Forensic indicators. J Med Entomol, 28 (1991) 565-77.

[15] H. Muggenthaler, I. Sinicina, M. Hubig, G. Mall. Database of post-mortem rectal cooling cases under strictly controlled conditions : a useful tool in death time estimation. Int J Legal Med (2012) 79-87.

Auteur / Contact : Docteur Guillaume BOUDARHAM

Laboratoire Pluridisciplinaire de Criminalistique

Bioparc Genopole - Campus 1, Bâtiment 8

5, rue Henri Desbruères - 91 030 Évry Cedex (France)

Port : 06 88 61 52 00

Mail : guillaume.bouardham@lpc-expert.fr

Site web : www.lpc-expert.fr



Laboratoire
Pluridisciplinaire de
Criminalistique

Les Sciences Physiques et Chimiques
au Service de la Justice