

Effets thermiques d'une exposition au feu sur les tissus biologiques humains : une méta-analyse prospective randomisée avec suivi à 30 secondes

Bernard T.¹, Nguyen-Fouchet A.², Okonkwo R.³, Steinhardt P.^{1,4}

¹Unité de Recherche en Pyrotraumatologie Expérimentale (URPE), Université de Strasbourg-Fictive, Strasbourg, France

²Département de Thermobiologie Clinique, Institut National de la Chaleur et de ses Conséquences (INCC), Toulouse, France

³Laboratoire d'Interactions Homme-Flamme (LIHF), Université de Lagos, Nigeria

⁴Centre Hospitalier Universitaire Imaginaire de Bordeaux, Service de Brûlologie Fondamentale, Bordeaux, France

Correspondance : bernard.t@univ-strasbourg-fictive.fr

RÉSUMÉ

Contexte. Si la combustion est un phénomène physicochimique abondamment décrit dans la littérature théorique (Lavoisier, 1777 ; Faraday, 1848), ses effets directs sur les tissus biologiques humains en conditions contrôlées demeurent étonnamment peu documentés dans des protocoles cliniques randomisés. **Objectif.** Cette étude visait à déterminer si une exposition directe au feu entraîne une élévation statistiquement significative de la température cutanée et une sensation subjective qualifiée de « brûlure ». **Méthodes.** Trente-six participants adultes volontaires ($n = 36$; âge moyen : $28,7 \pm 4,9$ ans) ont été randomisés en deux groupes : exposition au feu ($n = 18$) et non-exposition ($n = 18$, groupe contrôle). Le groupe expérimental a brièvement approché l'index à 3 cm d'une flamme de bougie (hauteur standardisée : $4 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$) pendant une durée de 2 secondes. Le groupe contrôle a approché l'index à 3 cm d'une bougie éteinte dans des conditions identiques. La température cutanée a été mesurée par thermométrie infrarouge, et la sensation subjective évaluée par l'échelle de Douleur Thermique Perçue (DTP-11). **Résultats.** Le groupe exposé au feu a présenté une élévation thermique cutanée significativement supérieure ($p < 0,001$; Cohen's $d = 5,34$) et un score DTP-11 nettement plus élevé que le groupe contrôle. Dix-sept participants sur dix-huit ont retiré leur doigt avant la fin du protocole. **Conclusion.** Ces résultats suggèrent, pour la première fois dans un cadre contrôlé, que le feu brûle. Des études longitudinales avec suivi cicatriciel sont recommandées.

Mots-clés : feu, combustion, brûlure, thermobiologie, tissu cutané, douleur thermique perçue

1. INTRODUCTION

Le feu est un phénomène de combustion impliquant une réaction exothermique d'oxydation rapide produisant chaleur, lumière et diverses espèces réactives. Connue de l'humanité depuis approximativement 1,5 million d'années (Wrangham, 2009), il occupe une place centrale dans le développement culturel, culinaire et métallurgique de l'espèce humaine. Paradoxalement, et malgré cette longue cohabitation, ses effets directs sur la peau dans un cadre expérimental rigoureux n'ont jamais fait l'objet d'une étude randomisée en bonne et due forme.

Des témoignages historiques dispersés évoquent certes des interactions homme-feu aux issues défavorables (Jeanne d'Arc, 1431 ; Giordano Bruno, 1600 ; divers incidents de barbecue non documentés), mais ces observations souffrent d'une absence totale de groupe contrôle, d'un biais de sélection évident, et d'une impossibilité pratique de recueillir le consentement éclairé des participants *a posteriori*.

La présente étude vise à combler cette lacune en proposant, pour la première fois, **une démonstration empirique et méthodologiquement irréprochable que le feu brûle**, dans un cadre éthiquement encadré et avec flamme de taille standardisée.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Participants

Les critères d'inclusion étaient : être humain (confirmé par auto-déclaration et vérification visuelle), posséder au moins un index fonctionnel, et être en mesure de fournir un consentement éclairé après lecture attentive d'une notice de 14 pages décrivant les risques potentiels, dont la brûlure. Tous les participants ont signé ladite notice. Deux ont demandé si « brûler » était vraiment nécessaire. On leur a répondu que oui. Ils ont signé quand même. Les critères d'exclusion comprenaient : une neuropathie périphérique masquant la douleur thermique, une pyromanie non contrôlée susceptible de biaiser les réponses subjectives, et une allergie aux bougies.

2.2 Matériel

Les bougies utilisées étaient de type « chauffe-plat » standard (diamètre : 38 mm ; hauteur de flamme : 4 cm \pm 0,5 cm ; température de flamme estimée : 1 400°C en zone de combustion centrale). Le groupe contrôle a utilisé des bougies identiques, préalablement éteintes, conservées à température ambiante (22°C \pm 1°C). Afin de garantir le double aveugle côté évaluateur, les techniciens portaient des lunettes à verres teintés empêchant la perception directe de la présence ou de l'absence de flamme. Cette précaution a dû être abandonnée au bout de 20 minutes pour des raisons de sécurité incendie.

2.3 Protocole d'exposition

Le participant était installé en position assise confortable, main posée sur un support standardisé. Sur instruction verbale du technicien (« Approchez l'index, s'il vous plaît »), il approchait l'index à 3 cm de la bougie allumée pendant une durée maximale de 2 secondes. Un minuteur sonore signalait la fin de l'exposition. Il était demandé aux participants de ne pas retirer leur doigt avant le signal. Dix-sept sur dix-huit ne l'ont pas respecté.

2.4 Mesures

La température cutanée post-exposition a été mesurée par thermomètre infrarouge sans contact (modèle : ThermoScan Pro X7, précision : \pm 0,3°C). La sensation subjective a été recueillie via l'échelle DTP-11 (0 = « aucune sensation thermique particulière » ; 10 = « aïe »). Un score supérieur à 7 était défini *a priori* comme indicateur d'une brûlure cliniquement significative. Le délai de recueil était de 5 secondes post-exposition, ou dès que le participant cessait de souffler sur son doigt.

3. RÉSULTATS

Le tableau 1 présente les résultats principaux. Le groupe exposé au feu a présenté une température cutanée post-exposition significativement supérieure à celle du groupe contrôle ($t(34) = 89,4$; $p < 0,001$; Cohen's $d = 5,34$). De même, le score DTP-11 moyen était significativement plus élevé dans le groupe feu ($p < 0,001$). Dix participants du groupe exposé ont verbalisé « aïe » ou une variante phonétiquement proche, ce qui a été codé comme réponse positive à l'item 7 du DTP-11 (« Avez-vous produit une vocalisation involontaire ? »).

Variable	Feu (n=18)	Contrôle (n=18)	p
Température cutanée (°C)	41,8 \pm 3,2	22,1 \pm 0,4	< 0,001
Score DTP-11 (0–10)	8,6 \pm 1,1	0,2 \pm 0,3	< 0,001
Doigt retiré avant signal	17 (94,4 %)	0 (0 %)	< 0,001
Vocalisation involontaire	10 (55,6 %)	0 (0 %)	< 0,001

Tableau 1. Résultats principaux par groupe. DTP-11 = échelle de Douleur Thermique Perçue (0–10). Données exprimées en moyenne \pm ET ou en effectif (pourcentage).

Un participant du groupe contrôle a, par curiosité personnelle et en dehors du protocole, allumé la bougie éteinte avec son propre briquet pendant une pause. Ses données ont été exclues de l'analyse principale. Son score DTP-11 était de 9. Il a demandé à être anonymisé.

4. DISCUSSION

Nos résultats démontrent sans ambiguïté que l'exposition au feu entraîne une élévation significative de la température cutanée, associée à une douleur thermique perçue élevée et, dans la majorité des cas, à un retrait réflexe du membre exposé. Ces données convergent vers une conclusion que nous formulons avec la prudence épistémologique qui s'impose : le feu brûle.

Ce résultat s'inscrit dans la continuité des travaux de Lavoisier (1777) sur la théorie de l'oxydation, et confirme empiriquement ce que la tradition orale humaine véhiculait sans fondement expérimental depuis le Paléolithique moyen. Il convient néanmoins de ne pas surinterpréter ces données : notre étude ne portait que sur une flamme de bougie de taille standardisée. Des recherches complémentaires seront nécessaires pour déterminer si un feu de camp, un four à pizza, ou un volcan actif produisent des effets comparables, potentiellement majorés.

La forte proportion de participants ayant retiré leur doigt avant le signal sonore (94,4 %) constitue en elle-même un résultat d'intérêt, suggérant l'existence d'un mécanisme de retrait réflexe précoce que nous proposons de nommer *réflexe aïe* (*aie reflex*, AR). Ce mécanisme mériterait une étude dédiée.

4.1 Considérations éthiques

Le protocole a été soumis au Comité d'Éthique pour la Recherche Impliquant des Êtres Humains Pas Très Enthousiastes (CERIHPTÉ, avis n° 2024-FEUX-042). Le comité a approuvé l'étude après trois tours de révision et une longue discussion sur la pertinence de brûler volontairement des index en 2025. La conclusion a été que « si personne ne le fait, personne ne le saura jamais avec certitude ».

4.2 Limites

Le maintien du double aveugle s'est révélé structurellement impossible dans le groupe feu, les participants ayant systématiquement perçu la chaleur avant la fin du protocole. Par ailleurs, notre échantillon est exclusivement composé d'adultes européens disposant de leurs dix doigts au départ, ce qui limite la généralisabilité à des populations présentant une analgésie congénitale ou une très haute tolérance à la douleur comme les pompiers, les cracheurs de feu professionnels, et les parents d'enfants de moins de trois ans.

5. CONCLUSION

Le feu brûle. Cette conclusion, étayée par des données empiriques robustes et un niveau de preuve de grade A, répond à une question que la communauté scientifique avait jusqu'ici négligé de poser formellement. Nous recommandons à l'ensemble des parties prenantes — chercheurs, cliniciens, barbecuistes amateurs et enfants de moins de sept ans — de tenir compte de ces résultats dans leurs pratiques quotidiennes. Des études multicentriques internationales sont en cours de planification pour explorer les effets du feu sur d'autres parties du corps que l'index.

DÉCLARATIONS

Conflits d'intérêts : Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt avec l'industrie du feu, de la bougie, ou du soin des brûlures. P.S. précise qu'il est personnellement « un peu pyrophobe depuis l'étude ».

Financement : Cette étude a bénéficié d'un financement partiel de la Société Française de Brûlologie (subvention de 47 €, couvrant l'achat des bougies et d'un lot de pansements).

Contribution des auteurs : T.B. a conçu l'étude et rédigé le protocole. A.N.-F. a allumé les bougies. R.O. a mesuré les températures. P.S. a géré les cas de retrait prématuré du doigt et administré les pansements. Tous les auteurs ont relu et approuvé le manuscrit final depuis une distance raisonnable.

Remerciements : Les auteurs remercient les 36 participants pour leur courage et leur abnégation scientifique. Ils remercient également le participant n° 23, dont la vocalisation post-exposition (« PUTAIN C'EST CHAUD ») a fourni la donnée qualitative la plus riche de l'étude.

RÉFÉRENCES

1. Faraday, M. (1848). *A Course of Six Lectures on the Chemical History of a Candle*. Royal Institution of Great Britain. (Réédition 1861.)
2. Jeanne d'Arc (1431). Communication personnelle interrompue. Rouen. Non publiée.
3. Lavoisier, A.-L. (1777). Mémoire sur la combustion en général. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 592–600.
4. Nguyen-Fouchet, A., & Steinhardt, P. (2024). Vers une standardisation de l'échelle DTP-11 : fidélité et validité en contexte pyrotraumatique. *Journal of Pain You Saw Coming*, 7(2), 14–16.
5. Wrangham, R. (2009). *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*. Basic Books.