



HAL
open science

Étude physico-chimique de la dégradation par le feu de l'os alvéolaire et basal : intérêt médico-légal

Maud Dujon

► **To cite this version:**

Maud Dujon. Étude physico-chimique de la dégradation par le feu de l'os alvéolaire et basal : intérêt médico-légal. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01713525

HAL Id: dumas-01713525

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01713525>

Submitted on 20 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

UNIVERSITE PARIS DIDEROT - PARIS 7

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

5, Rue Garancière 75006 PARIS

Année 2017

Thèse N°:

N° attribué par la bibliothèque :

THESE pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR

en CHIRURGIE DENTAIRE

présentée et soutenue publiquement le Jeudi 23 Mars 2017

par **DUJON Maud**

**ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE DE LA DÉGRADATION PAR LE FEU
DE L'OS ALVÉOLAIRE ET BASAL : INTÉRÊT MEDICO-LÉGAL**

Directeur de these : Monsieur le Docteur Steve TOUPENAY

JURY

M. le Professeur Yves BOUCHER	Président
M. le Docteur Vianney DESCROIX	Assesseur
M. le Docteur Rufino FELIZARDO	Assesseur
Mme le Professeur Laurence JORDAN	Assesseur
M. le Docteur Jean-Raphaël NEFUSSI	Assesseur
M. le Docteur Steve TOUPENAY	Membre Invité
M. Hervé BAZIN	Membre Invité
M. Aurélien THIRY	Membre Invité

UNIVERSITE PARIS DIDEROT – PARIS 7

Présidente de l'Université : Mme la Professeure Christine CLERICI

Doyen de l'U.F.R. d'Odontologie : M. le Professeur Robert GARCIA

Directrice Générale des Services : Madame Pascale SAINT-CYR

JURY

M. le Professeur Yves BOUCHER	Président
M. le Docteur Vianney DESCROIX	Assesseur
M. le Docteur Rufino FELIZARDO	Assesseur
Mme le Professeur Laurence JORDAN	Assesseur
M. le Docteur Jean-Raphaël NEFUSSI	Assesseur
M. le Docteur Steve TOUPENAY	Membre Invité
M. Hervé BAZIN	Membre Invité
M. Aurélien THIRY	Membre Invité

M. le Professeur Yves BOUCHER

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence du jury de cette thèse, veuillez trouver ici l'expression de ma plus haute considération, soyez assuré de ma plus sincère estime et de mon plus profond respect.

M. le Docteur Vianney DESCROIX

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Pharmacie
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de cette thèse, pour vos qualités d'enseignant et la pédagogie avec laquelle vous avez transmis votre savoir durant mon cursus, soyez assuré de ma respectueuse considération.

M. le Docteur Rufino FELIZARDO

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de ma thèse, et pour la passion avec laquelle vous nous avez transmis votre savoir, veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude et mes plus sincères remerciements.

Mme le Professeur Laurence JORDAN

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites en participant au jury de cette thèse, pour votre dévouement, votre écoute et votre implication durant mes années d'études, veuillez trouver ici l'expression de ma plus sincère reconnaissance.

M. le Docteur Jean-Raphaël NEFUSSI

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Sciences Odontologiques
Diplôme d'Etat en Odontologie
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de siéger à ce jury, veuillez recevoir ici ma plus sincère estime et mon profond respect.

M. le Docteur Steve TOUPENAY

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Sciences en Biologie Orale
Maître de Conférences des Universités –
Praticien Hospitalier
Expert judiciaire près la cour d'appel de Paris

Pour l'honneur que vous me faites et la confiance que vous m'avez accordé en acceptant la direction de cette thèse, pour l'originalité du sujet et l'ouverture qu'il m'a permis d'avoir sur l'odontologie légale, pour votre disponibilité, votre aide précieuse et votre engagement dans l'élaboration de ce travail mais également au cours de mon cursus universitaire, je vous prie de trouver ici l'expression de ma profonde gratitude et mon amitié la plus sincère.

M. Hervé BAZIN

Ingénieur en chef
Chef de département des mesures physiques et sciences de l'incendie au Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au sein du jury de cette thèse en odontologie, pour la confiance que vous m'avez accordée en acceptant de travailler sur cette thèse et pour m'avoir permis de vivre une belle expérience, soyez assuré de mon plus profond respect et de ma plus sincère reconnaissance.

M. Aurélien THIRY

Ingénieur Principal,
Chef de Section Ingénierie du feu
Pôle des mesures physiques et sciences de l'incendie au Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris

Pour l'honneur que vous me faites de prendre part au jury de cette thèse et la confiance que vous m'avez témoignée au cours de ces travaux, pour votre gentillesse et votre disponibilité et pour la qualité de vos explications et de vos corrections, veuillez trouver ici l'expression de ma respectueuse considération et de mes sincères remerciements.

M. Pierre CARLOTTI

Directeur de Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris

M. Patrick PINEAU

Directeur adjoint du Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris

J'adresse également mes plus sincères remerciements à l'ensemble de l'équipe scientifique de la section Ingénierie du feu du Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris : Sylvie DUPONT, Delphine GARCIA, Nicolas DREUILLE, Mathieu SUZANE, Grégoire GUICHARD pour votre dévouement et Adissa TRAORE pour ton implication particulière dans l'analyse des résultats, tes réponses à mes nombreux mails, et ton aide pour m'aider dans ma rédaction. Merci à tous pour le temps que vous m'avez accordé et l'aide précieuse que vous m'avez apportée.

TABLES DES MATIÈRES :

1 INTRODUCTION	4
2 SCIENCES DU FEU	7
2.1 HISTORIQUE DE L'IDENTIFICATION MÉDICO-LÉGALE DANS LE CAS D'INCENDIE.	7
2.2 AMORCER UN INCENDIE : ÉPIDÉMIOLOGIE ET DÉFINITIONS	7
2.2.1 ÉPIDÉMIOLOGIE	7
2.2.2 ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DU FEU	11
2.3 CARACTÉRISER UN INCENDIE	14
2.3.1 ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES D'UN INCENDIE	14
2.3.1.1 Point éclair, point de feu, et autoinflammation.....	14
2.3.1.2 Taux et flux de chaleur.....	14
2.3.1.3 Mode de propagation d'un incendie.....	15
2.3.1.4 La pyrolyse	18
2.3.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE FEU	18
2.3.2.1 Le feu de flammes ou flamboyant (<i>the flaming fires</i>).....	18
2.3.2.2 Le feu braisant.....	20
2.4 LABORATOIRE CENTRAL DE LA PRÉFECTURE DE POLICE DE PARIS.....	21
2.4.1 CHAMPS D'ACTION	21
2.4.2 LES ESSAIS ET LEURS ÉCHELLES.....	21
3 SPHÈRE ORALE SOUMISE AUX RAYONNEMENTS THERMIQUES ET DESTRUCTIONS DANS LE CADRE MEDICO-LÉGAL.	23
3.1 LES TISSUS DE LA FACE.....	23
3.1.1 CARACTÉRISTIQUES HISTOLOGIQUES.....	23
3.1.1.1 Fonctions.....	23
3.1.1.2 Composition	24
3.1.2 LES EFFETS DU FEU SUR LES TISSUS FACIAUX.....	25
3.2 LE TISSU OSSEUX	30
3.2.1 CARACTÉRISTIQUES HISTOLOGIQUES DE L'OS.....	30
3.2.1.1 Fonctions.....	30
3.2.1.2 Histogénèse et développement du tissu osseux et de l'os	30
3.2.1.3 Constitution	33
3.2.1.4 Architecture de l'os.....	36
3.2.1.5 Propriétés mécaniques	37
3.2.2 L'OS ALVÉOLAIRE, UN OS SPÉCIFIQUE	37

3.2.3 EFFET DU FEU SUR L'OS	39
3.2.3.1 L'os brûlé.....	41
3.2.3.2 Changements induits thermiquement sur l'os.....	47
3.2.3.3 Modifications chromatiques induites sur l'os	48
3.2.3.4 Perte de masse du tissu osseux soumis à un rayonnement thermique.....	50
4 ÉTUDE DE LA DÉGRADATION PAR LE FEU DE L'OS ALVÉOLAIRE ET BASAL.	53
4.1 PROBLÉMATIQUE, OBJECTIF ET INTÉRÊT DE L'ÉTUDE	53
4.2 PROTOCOLE D'ÉTUDE	54
4.2.1 SITE ET DISPOSITIF	54
4.2.2 CONDITION DE L'ESSAI, AMÉNAGEMENT ET FOYER.....	54
4.2.3 LES ESSAIS	56
4.2.4 PROTOCOLE DE L'ESSAI.....	58
4.2.5 POSTE DE MESURE.....	60
4.3 MATÉRIEL	61
4.3.1 MÂCHOIRES DE PORC	62
4.3.2 ASPECTS LÉGAUX DU PRÉLÈVEMENTS D'OS MAXILLAIRE.....	63
4.3.2.1 Problématique chez l'homme	63
4.3.2.2 Problématique chez l'animal.....	64
4.4 MÉTHODES	65
4.4.1 L'ANALYSEUR THERMOGRAVIMÉTRIQUE (ATG)	65
4.4.1.1 Définition et principe de mesure	65
4.5 RÉSULTATS	68
4.5.1 OBSERVABLES MACROSCOPIQUEMENT	68
4.5.1.1 Têtes 1, essais 1, 2 et 3	68
4.5.1.2 Têtes 2a et 2b, essais 1, 2 et 3	70
4.5.1.3 Têtes 3 et 4, essais 1 ; 2 et 3	73
4.5.2 ANALYSE DES COURBES APRÈS PASSAGE Á L'ATG	76
4.5.2.1 Sélection des échantillons.....	76
4.5.2.2 Répétabilité et critères de selections des données	76
4.5.2.3 Variations de masse au cours des essais.....	78
4.5.2.4 Analyse de la température.....	87
4.5.2.5 Corrélation perte de masse et température.....	90
5 DISCUSSION	90
5.1 ANALYSE DES BIAIS	90
5.1.1 BIAIS ENGENDRÉS PAR LE MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL	90

5.1.1.1 ATG.....	90
5.1.1.2 Thermocouple.....	91
5.1.1.3 Microbalance	91
5.1.2 BIAIS ENGENDRÉS PAR LE PROTOCOLE D'ETUDE	91
5.1.2.1 Essai conventionnel de vraie grandeur	91
5.1.2.2 Nature de l'os : Mâchoire de porc vs mâchoire humaine	92
5.1.2.3 Os alvéolaire et os basal.....	93
5.1.2.4 Tissus de soutien.....	93
5.1.3 BIAIS ENGENDRÉS PAR LES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES	94
5.1.3.1 Mise en place des thermocouples	94
5.1.3.2 Énergie reçue par les têtes.....	94
5.1.3.3 Prélèvements osseux	94
5.1.3.4 Masse initiale des échantillons.	94
5.2 ANALYSE DES RÉSULTATS	95
5.3 MISE EN RELATION DES ÉTUDES ET LEUR INTÉRÊT POUR LE LCPP	96
6 CONCLUSION	100
9 BIBLIOGRAPHIE.....	102
8 ANNEXES	108
9 TABLES DES ILLUSTRATIONS.....	115
9.1 FIGURES.....	115
9.2 TABLEAUX	117

1 INTRODUCTION

Au cours des dernières années, l'odontologie médico-légale, discipline criminalistique qui englobe de nombreux secteurs (médical, éthique, judiciaire et scientifique), a connu une évolution considérable. Cette discipline consiste à analyser les restes humains entiers ou fragmentés de la cavité buccale et de la face. Ces restes peuvent être frais, décomposés, carbonisés ou squelettisés (Adam et al., 2014). L'odontologie médico-légale joue un rôle important dans l'identification humaine notamment dans le protocole Interpol où l'organe dentaire fait partie des identifiants primaires avec l'ADN et les empreintes digitales.

De nos jours, différentes méthodes d'identification primaire existent :

- **La génétique**, notamment avec l'analyse de l'ADN nucléaire, mitochondrial ou du chromosome Y. L'ADN nucléaire est utilisé pour l'analyse par PCR (*Polymerase Chain Reaction*) mais celui-ci est facilement détruit par l'eau, les micros organismes, les UV et les températures élevées. Celui-ci doit être conservé en congélation et en milieu anaérobie (Rallon et al., 2013). En 1998, a été mis au point un Fichier National Automatisé des Empreintes Génétiques (FNAEG) qui regroupe l'ensemble des délinquants sexuels. Depuis 2001, les profils génétiques des individus condamnés pour des crimes graves contre les personnes sont enregistrés. En 2003, la loi sur la sécurité intérieure rend possible l'inscription des profils génétiques des individus condamnés ou mis en cause dans tous les crimes et délits d'atteintes aux biens ou aux personnes (Police-Scientifique, 2013).
- **L'odontogramme**, qui regroupe l'ensemble des données buccodentaire d'un individu, mais pour lequel aucun fichier national n'a été créé (Rallon et al., 2013) .
- **Les empreintes digitales**, avec un Fichier Automatisé des Empreintes Digitales (FAED). Il existe un fichier propre à chaque département, et un fichier national qui regroupe les empreintes des personnes susceptibles d'avoir commis ou ayant commis un crime ou délit, les empreintes des personnes mises en cause dans une procédure pénale dont l'identification certaine s'avère nécessaire, et les empreintes des individus placés dans un établissement pénitentiaire mais aussi les empreintes transmises par des organismes de coopération internationales (Police-Scientifique, 2013).

Ces éléments d'identification primaire peuvent être complétés par des éléments secondaires avec la reconnaissance, lorsque le corps est non mutilé ou encore par l'anthropologie médico-légale qui s'attache à l'étude des restes osseux lorsque les cadavres sont putréfiés ou carbonisés

et que la reconnaissance faciale est impossible. Le but est de déterminer le sexe et d'évaluer l'âge. Le choix de la ou des méthodes est dicté par le stade de décomposition ou de fragmentation du corps.

L'organe dentaire est doté de spécificités anatomiques, physiologiques, histologiques et thérapeutiques, qui font de lui un élément incontournable dans l'identification et qui lui procure une place pérenne dans la médecine légale (Nossintchouk et al., 1991). La dent permet d'identifier les corps sévèrement décomposés notamment lors de catastrophes naturelles, technologiques (incendie du tunnel du Mont Blanc le 24 mars 1999, explosion de l'usine AZF à Toulouse en 2001), d'actes terroristes (World Trade Center le 11 septembre 2001, les attentats du 13 novembre 2015 ou de Nice le 14 juillet 2016), de catastrophes fermées, qui surviennent dans un milieu clos où le nombre et le nom des victimes sont supposés connus mais aussi dans le cas de suicide ou d'incinération à haute température lors de feux de voiture où l'identification visuelle est impossible (Laborier et al., 2008).

La dent est entourée par l'os alvéolaire spécifique à l'organe dentaire et par l'os basal qui lui confère un environnement de soutien. Ces deux os sont autant touchés voire plus que la dent lorsque l'homme subit des agressions. Les os alvéolaire et basal interviennent dans la protection de l'organe dentaire. Il est alors intéressant de savoir comment ils réagissent lors d'attaques et plus particulièrement lors d'un feu.

Depuis de nombreuses années, les anthropologues se sont intéressés à l'étude des incendies. Le feu et la chaleur provoquent des altérations des preuves matérielles et des restes humains. Le feu est une force destructrice qui peut endommager, modifier ou détruire des éléments précieux, essentiels pour les reconstructions biologiques et contextuelles. Les analyses anthropologiques et médico-légales sont nombreuses et diverses sur les modifications que peut subir l'organisme face à la chaleur. Les études de ces recherches ont porté sur la position du corps et sur son état de décomposition au moment de la crémation. Si ces paramètres sont définis, il est alors possible de comprendre comment et dans quelle mesure le feu consume l'os dans un cadre d'incendie avec victime. (Stewart, 1979).

L'interprétation correcte de ces éléments est essentielle pour les enquêtes médico-légales modernes, conférant un nouvel élan à la recherche anthropologique légale dans le domaine de l'os brûlé.

L'objectif de cette thèse est de s'intéresser aux modifications physiques et chimiques que l'os subit lorsqu'il est exposé à de hautes températures. L'étude est réalisée en collaboration avec la section d'ingénierie du Feu du Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris (LCPP). Elle met en évidence la manière dont l'os est dégradé au cours d'un incendie et comment il peut intervenir dans l'identification humaine.

2 SCIENCES DU FEU

2.1 HISTORIQUE DE L'IDENTIFICATION MÉDICO-LÉGALE DANS LE CAS D'INCENDIE.

L'odontologie médico-légale en France fait son apparition dans l'incendie du Bazar de la Charité le 4 mai 1897 (Amoedo, 1897) lorsqu'une lampe à vapeur d'éther servant à une projection cinématographique prend feu. L'incendie, propagé par le bois des chalets et le goudron des toits fait 120 victimes sur 1600 personnes présentes. L'identification par reconnaissance comme les bijoux ou les vêtements mène à de nombreuses erreurs. C'est alors que quelques corps font l'objet d'identification, dont celui de la duchesse d'Alençon par son dentiste, le Dr. Davenport. L'odontogramme réalisé par ce chirurgien permet de comparer les restes calcinés de cette patiente aux traitements dentaires effectués (Raffa et Evenot, 1998).

L'objectif principal de l'anthropologie médico-légale dans le domaine de l'os brûlé est d'établir des méthodes améliorées pour la collecte, la conservation et l'interprétation des os, modifiés par des procédés thermiques, afin d'établir l'identité et de trouver des preuves potentielles d'une activité criminelle, avec pour objectif final de contribuer à déterminer la cause et les circonstances de la mort (Schmidt et Symes, 2015).

2.2 AMORCER UN INCENDIE : ÉPIDÉMIOLOGIE ET DÉFINITIONS

2.2.1 ÉPIDÉMIOLOGIE

Aujourd'hui en France, environ 540 000 personnes par an décèdent (Insee, 2012). Depuis les années 1980, en prenant en compte l'augmentation de la population, le nombre moyen de décès dans les incendies a été divisé par 2 en 30 ans.

Année	Population (Insee)	Nombre de décès sur feux (DGSCGC)
1982	55 773 000	702
1990	58 138 268	759
1999	60 315 408	460
2012	65 252 000	362
Evolution	+ 9 679 000	-340

Tableau 1 : Evolution des taux de décès dans des feux (Inserm – CépiDc, 2012)

En France, entre 2005 et 2012, 350 à 500 personnes par an décèdent dans un incendie. Leur nombre étant peu significatif par rapport aux décès par tumeurs ou maladies de l'appareil circulatoire, ils sont regroupés dans « autres causes » dans le graphique ci-dessous. Malgré tout, lorsqu'un incendie se produit, l'identification de la personne est primordiale et peut devenir difficile.

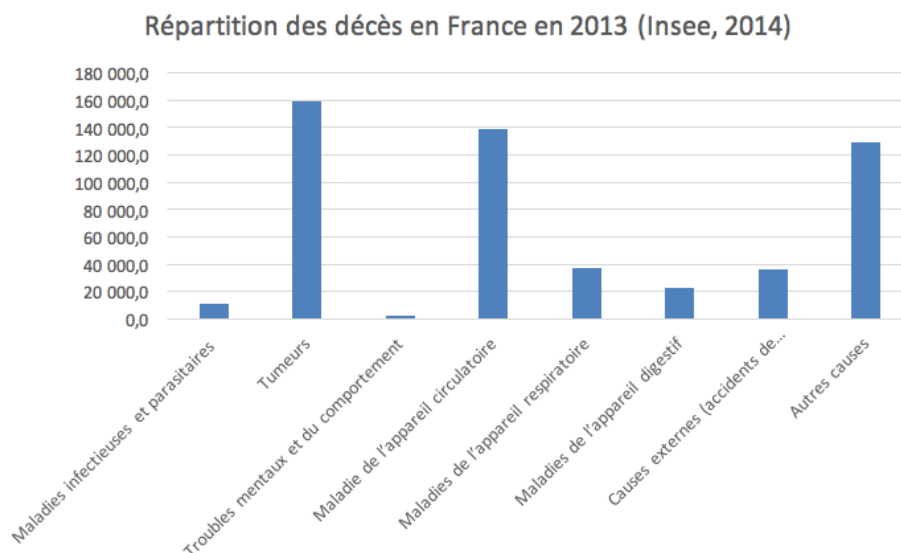


Figure 1 : Répartition des décès en France en 2013 (Insee, 2014)

En 2014, les sapeurs-pompiers ont effectué 4 294 400 interventions dont 270 900 incendies soit 6 % de leur intervention globale (DGSCGC, 2015).

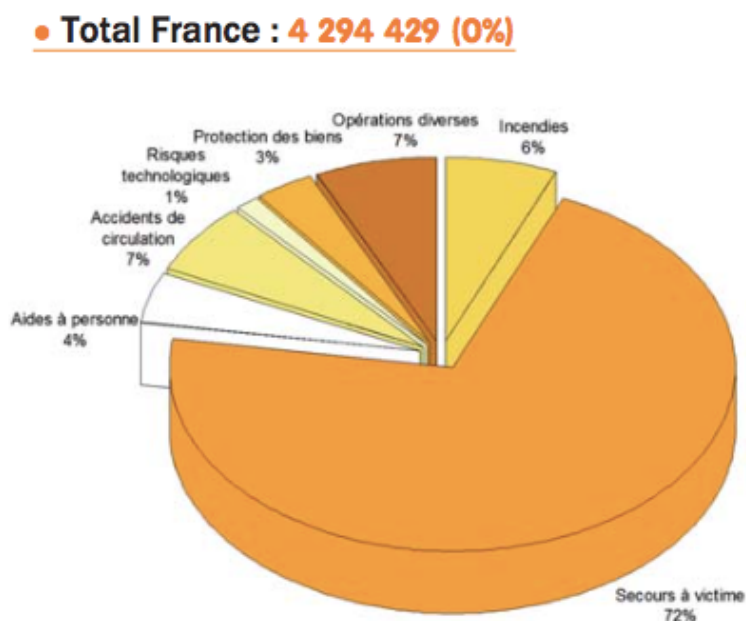


Figure 2 : Répartition des interventions des sapeurs-pompiers en 2014 (DGSCGC, 2015)₈

Les décès par incendie sont principalement dus à une privation en oxygène, une inhalation de fumées toxiques et de gaz irritants (acides chlorhydriques, fluorhydriques, dérivés de l'azote, anhydrides, suies et vapeur d'eau). Ces fumées sont constituées de gaz imbrûlés, toxiques, de gaz de combustion et de particules toxiques (suies). Leur opacité, leur toxicité (monoxyde de carbone (CO) et dioxyde de carbone (CO₂), acide cyanhydrique (HCN)), leurs composés anhydrides (sulfureux SO₂ et sulfurique SO₃), leur température et leur corrosivité peuvent facilement entraîner la mort. Il n'existe pas de relation entre la brûlure d'un corps et le taux d'intoxication, un corps sévèrement brûlé n'aura pas forcément été asphyxié et inversement (Baud, 2008).

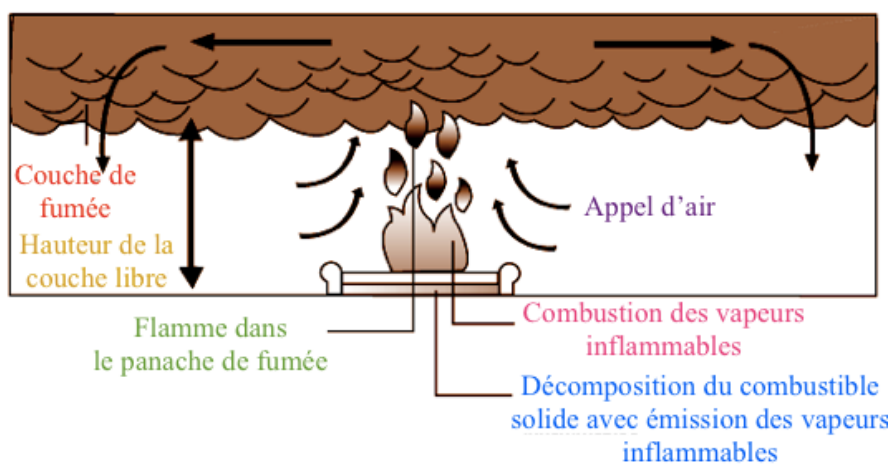


Figure 3 : Mode de propagation des fumées au cours d'un incendie

Chaque année, les incendies font environ 30 000 morts dans le monde. Une étude menée aux Etats Unis par Birky et Clarke en 1981, a montré que sur 523 victimes tuées dans un incendie aux Etats Unis, 80 % des décès sont dus aux fumées toxiques. Les personnes touchées sont le plus souvent des enfants ou des personnes âgées (Birky et Clarke, 1981).

En 2009, 343 300 incendies ont été recensés en France faisant 14 031 victimes dont 393 décès. Le diagramme ci-dessous présente le nombre de victimes (personnes décédées, blessées gravement ou non et personnes impliquées) lors d'incendie en 2009 en fonction de la nature de l'incendie. Il est à noter que 308 personnes sont décédées lors de feux d'habitations soit 80 % des décès. Ces feux d'habitations sont les plus nombreux, 13 107 en 2009.

• Incendies : **14 031**

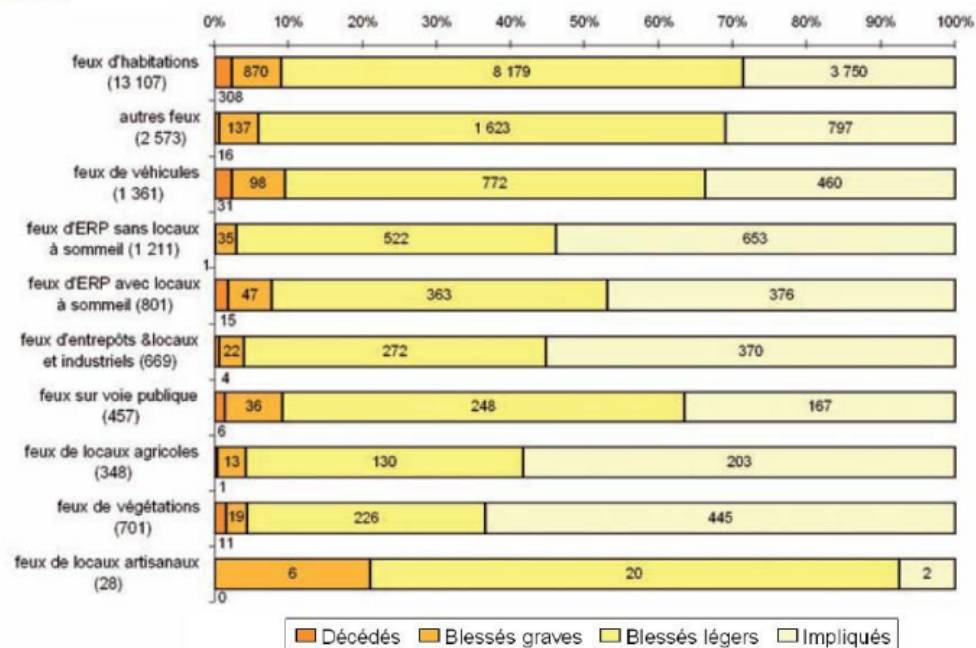


Figure 4 : Nombre de victime en France en fonction de la nature de l'incendie en 2009 (DDSC, 2007)

Entre 2005 et 2009, la moyenne annuelle des personnes décédées en France dans un incendie est de 402 dont 296 dans des feux d'habitations. Une diminution de 20 % du nombre de décès dans des incendies est observée entre 2005 et 2009.

Années	2005	2006	2007	2008	2009
Décès dans des incendies incluant les feux d'habitations	496	341	378	402	393
Décès dans les feux d'habitations	295	257	295	327	308

Tableau 2 : Nombre de victimes par année en fonction de la nature du feu (Fortin, 2013)

2.2.2 ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DU FEU

Le vocabulaire se rattachant au feu a été établi par la norme ISO 13943 en 2011.

Le **feu** est une réaction exothermique qui fait intervenir l'oxydation d'un combustible par un comburant, qui génère suffisamment de chaleur et de lumière pour s'auto-entretenir et être visible à l'œil nu. Le thème de combustion est utilisé lorsque la réaction est contrôlée dans le temps et dans l'espace, ce qui la différencie de l'**incendie** au cours duquel elle est auto-entretenue et non maîtrisée. Dans les deux cas cette réaction fait intervenir une source extérieure d'énergie (Houck et Aitken, 2015).

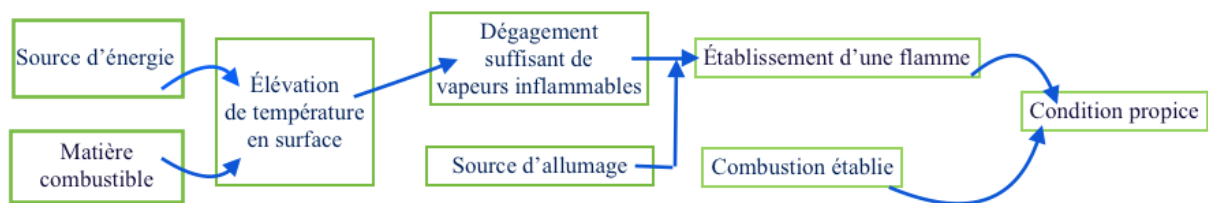


Figure 5 : Scénario d'une combustion amorcée

Le **combustible** est une matière capable de se décomposer et qui, en présence d'oxygène et d'énergie, se combine à un comburant. Les combustibles peuvent être solides (bois, charbon, papiers), liquides (solvants, essence) ou gazeux (propane, butane).

Le **comburant** permet l'oxydation du combustible. Le comburant est souvent l'oxygène présent dans l'air.

L'**énergie d'activation** est aussi indispensable. Elle peut être apportée par une source de chaleur, une étincelle, une compression adiabatique.

Le **triangle du feu** est constitué de trois éléments : le combustible, le comburant et l'énergie d'activation. L'absence d'un de ces trois éléments empêche l'activation de la combustion (Sainrat et Chesné, 2005).



Figure 6 : Triangle du feu

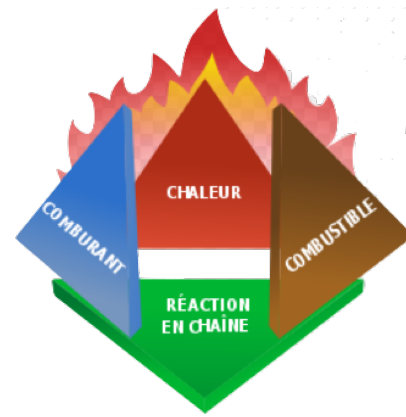


Figure 7 : Tétraèdre du feu

En 1980, un quatrième élément a fait son apparition : les radicaux libres. Ils sont créés par rupture des liaisons chimiques due à l'énergie thermique, on parle alors du **tétraèdre du feu**.

Les feux sont répartis en 5 classes d'après les normes AFNOR NF EN 2 et NF en 2/A1 :

Classes	Définitions	Combustibles	Crémation humaine & Biomatériaux dentaire
A	Feux secs de matériaux, généralement organiques	Bois, charbons, papiers, végétaux, cartons, textiles	Collagène, substance non collagénique
B	Feux de solides et de liquides liquéfiables	Liquides inflammables éther, alcool	
C	Feux de gaz	Gaz de ville butane, propane	
D	Feux de métaux	Aluminium, magnésium	Couronne dentaire, prothèses amovibles
F	Feux liés aux auxiliaires de cuisson ou liquides de cuisson	Huiles et graisses végétales ou animales	Peau Graisse humaine

Tableau 3 : Les différentes classes des feux

Les sources d'inflammation donnant naissance à un feu peuvent être de nature très diverse, telles que thermique, mécanique, électrique, physique, chimique, biologique. De même que la cause peut être naturelle, accidentelle d'ordre technique, accidentelle d'origine humaine ou résultant d'une action délibérée.

L'incendie se développe généralement en 5 phases (Aussel, 2007).

- 1- **L'initiation** : elle correspond à l'allumage du combustible. Le feu est naissant et peut être contrôlé ou éteint avec des extincteurs ou une faible quantité d'eau. L'initiation est définie par la OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*).
- 2- **La croissance** : augmentation du taux d'énergie libérée par le combustible et multiplication des foyers de l'incendie en fonction de la nature du combustible, du comburant et de la quantité d'oxygène mobilisable.
- 3- **L'accélération ou flashover** : transition d'un feu développé vers un feu pleinement développé avec une implication de tous les matériaux combustibles. Le flashover se produit si le combustible a une énergie calorifique suffisante et si l'apport d'oxygène est important. Le rayonnement thermique augmente brutalement et permet l'inflammation de l'ensemble des matériaux présent dans un volume. Cela contribue à l'intensification de l'incendie jusqu'au stade de l'embrasement généralisé.
- 4- **La phase de l'incendie pleinement développé** : il s'agit d'une phase post flashover. L'énergie dégagée est maximale. La température s'étend de 700 à 1200°C.
- 5- **La décroissance** : la majeure partie du combustible est consommé, le taux de dégagement de chaleur diminue.

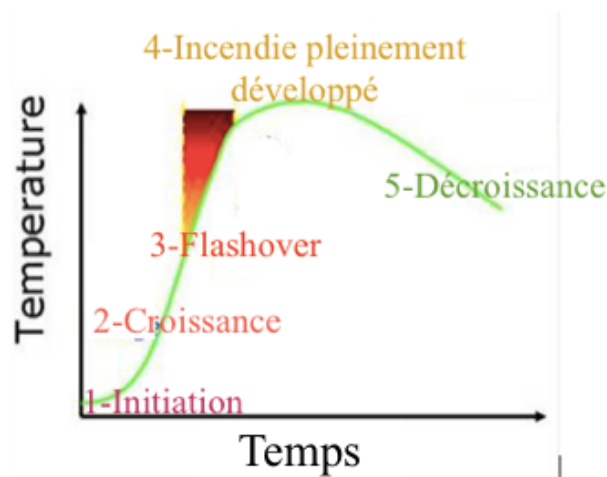


Figure 8 : Les phases de développement d'un incendie

2.3 CARACTÉRISER UN INCENDIE

2.3.1 ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES D'UN INCENDIE

Le feu présente différentes propriétés qui permettent de mieux l'interpréter et de mieux le comprendre.

2.3.1.1 Point éclair, point de feu, et autoinflammation

Le **point éclair** (*flash point*) est la température minimale à laquelle un corps combustible émet suffisamment de vapeurs pour former, avec l'air ambiant, un mélange gazeux qui s'enflamme sous l'effet d'une source d'énergie calorifique mais insuffisante pour que la combustion s'entretienne d'elle-même (Schmidt et Symes, 2015).

Le **point de flamme ou point de feu** se caractérise par une température légèrement supérieure. Ce point est nécessaire pour que la flamme puisse se maintenir dans la couche de vapeur au dessus du liquide (Aussel, 2007). Pour un solide, il s'agit de la température d'auto-inflammation pilotée.

Les températures du point de flamme et du point éclair sont cependant inférieures à celles requises pour l'auto-inflammation des vapeurs.

L'**auto-inflammation** ne nécessite pas de flamme pilote, il s'agit d'un point d'allumage spontané. Par exemple les vapeurs d'essence ont un point éclair de -40°C , mais une température d'auto-inflammation variant de 280 à 456°C (Schmidt et Symes, 2015).

2.3.1.2 Taux et flux de chaleur

Les incendies de toutes tailles et de tous types peuvent être caractérisés par leur HRR (*Heat Release Rate*) qui correspond au taux de dégagement de chaleur. Il est mesuré en joules par seconde (J/s) ou Watt (W). Le HRR d'une flamme ou d'un feu est la propriété de base de cette source de chaleur, il permet de déduire (Schmidt et Symes, 2015) :

- la hauteur de la flamme ;
- la vitesse d'augmentation des températures dans la pièce ;

De plus si la nature du combustible est connue :

- la vitesse à laquelle la pièce sera remplie de fumée ;
- l'effet que le feu aura sur les matériaux à proximité ou en contact avec lui.

2.3.1.3 Mode de propagation d'un incendie

Le feu se propage selon différents modes (INERIS-DRAS, 2006) :

- **Conduction** : transfert de chaleur de proche en proche par contact entre matériaux solides.
- **Convection** : la chaleur dégagée par un matériau qui brûle est transmise par des mouvements de fluides. Elle correspond au mouvement des gaz chauds et la transmission de chaleur entre un fluide et une surface (liquide ou solide).
- **Rayonnement** : la chaleur produite par un matériau qui brûle est partiellement transmise sous forme d'ondes électromagnétiques se propageant sans support. Les solides rayonnent proportionnellement à la puissance 4 de leur température et des flammes dissipent 15 à 45 % de leur énergie sous cette forme.
- **Déplacement des matières enflammées.**

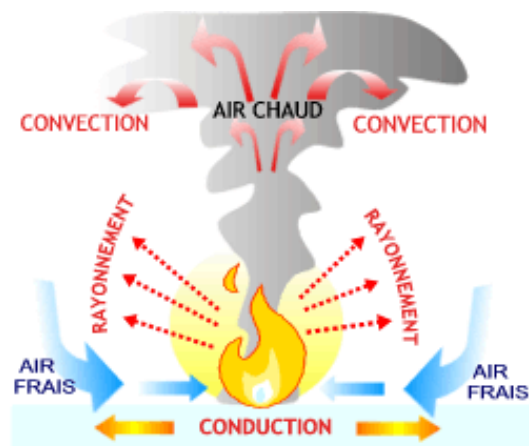


Figure 9 : Mode de propagation d'un incendie

Dans la pratique quotidienne, la conduction correspond à la chaleur ressentie au contact physique d'une pièce chaude, le rayonnement est la chaleur ressentie devant les flammes d'un feu de cheminée et la convection est la chaleur ressentie près d'un radiateur soufflant de l'air chaud.

Pour un petit feu, la majeure partie de la chaleur sera transférée par convection et seules les surfaces très proches des flammes seront affectées par leur chaleur rayonnante. Plus le feu est important (HRR en augmentation), plus la chaleur rayonnante aura un impact sur les surfaces voisines. Les objets en contact direct avec les flammes seront chauffés par les deux processus, radiants et convectifs, et leur température va augmenter très rapidement. La conduction joue un rôle principalement dans le processus d'allumage et dans la propagation des flammes (Schmidt et Symes, 2015).

Lorsque la chaleur est transférée à un objet, la température de cet objet augmente d'abord en surface, puis en profondeur par conduction. Le flux de chaleur correspond à la chaleur traversant une surface par unité de temps. Ce transfert d'énergie interne est réalisé du corps le plus chaud vers le corps le plus froid, ce qui produit, à terme, une égalisation des températures des deux corps en contact. Le flux thermique s'exprime en Joules par seconde - ou par son équivalent en Watt. L'évolution du flux thermique est gouvernée par les principes de la thermodynamique et l'équation de la chaleur. Lorsque ce flux thermique traverse une surface S, on obtient une densité de flux de chaleur notée φ telle que :

$$\varphi = \frac{\Phi}{S}$$

Φ : flux thermique en W

φ : densité de flux de chaleur en W / m²

S : surface m²

Cette densité de flux de chaleur est par conséquent exprimée en Watt par mètre carré (W / m²). Tous les corps (solide, liquide ou gazeux) en contact subissent ce phénomène d'échange thermique. L'utilisation de matériaux isolants ou d'un matériau conducteur permet d'intervenir sur l'intensité du flux transmis au sein de la phase condensée (Schmidt et Symes, 2015).

Les effets physiques et chimiques observés après l'exposition au feu sont alors le résultat de l'intensité du flux de chaleur, de la durée et des paramètres physiques de l'objet. Une fois que la combustion vive est établie sur la surface du combustible, elle atteint un état d'équilibre au cours duquel la température se stabilise. Pour des combustibles solides tels que le bois ou le plastique, la température à la surface du combustible est d'environ 350 à 400 °C (Drysdale, 1999).

Une étude menée au Canada a permis de mesurer de manière expérimentale la conduction thermique de l'os cortical bovin, l'objectif étant de réduire le risque de nécrose lors d'actes chirurgicaux thermogènes. Les risques de mort cellulaire sont paramétrés par l'augmentation de température et de durée d'exposition (Davidson et James, 2000). Une recherche dans la littérature révèle que la conductivité thermique de l'os cortical a été mesurée peu de fois et que les mesures relevées présentaient une grande disparité malgré le fait que les appareils expérimentaux partageaient le même principe de fonctionnement : les échantillons avaient été soumis à une source de chaleur et la conductivité thermique avait été calculée à partir des mesures de la chaleur générée, du gradient de température et des dimensions des échantillons.

Investigateurs	Espèces	Conductivités W / m / K	Notes
Biyikli et al.	Humaine	0,2	Echantillon sec
		0,3	Echantillon frais
Zelenov	Humaine	12,8	Os longitudinal
		9,7	Os radial
		9,9	Os circonférentiel
Lundskog	Humaine	3,56	Echantillon sec
Vachon et al.	Boeuf	0,601	Echantillon sec
		2,27	Echantillon frais
Kirkland	Bovin	0,888	
	Chèvre	3,08	
Chato	Humaine	0,38	Echantillon frais

Tableau 4 : Mesures de la conductivité thermique de l'os cortical (Davidson et James, 2000)

L'os dans son sens longitudinal présente des propriétés variables par rapport à celles qui peuvent être trouver dans son sens radial ou circonférentiel. Les propriétés de l'os sont différentes en fonction de son orientation. Il faut donc tenir compte de l'anisotropie de la conductivité thermique de l'os (Janković et al., 2009). Seul Zelenov a paramétré cette variable lors de ses expériences (Zelenov, 1985).

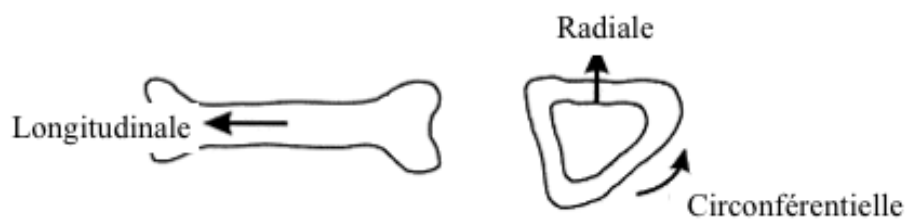


Figure 10 : Directions anatomiques de l'os long (Davidson et James 2000)

En 2010, il a été démontré que la conductivité thermique de l'os spongieux était inférieure à celle de l'os long. Afin pour pouvoir mesurer l'échauffement de l'os alvéolaire durant le forage implantaire, Huang a utilisé des blocs biomécaniques d'expérimentation, il a alors mesuré une conductivité thermique de 0,05 W / m / K pour l'os spongieux alors que pour les blocs simulant de l'os cortical la valeur était de 0,45 W / m / K (Huang et al., 2010).

2.3.1.4 La pyrolyse

La pyrolyse se caractérise comme la décomposition chimique d'une molécule sous l'effet de la chaleur et en l'absence d'oxygène. Il s'agit d'une étape fondamentale dans le développement des incendies impliquant des combustibles solides. Ceux-ci atteignent généralement des températures de 300 à 400 °C conduisant à des ruptures de liaisons covalentes des molécules organiques, qui génèrent une décomposition du matériau. Les espèces produites les plus volatiles sont alors susceptibles de passer dans la phase gazeuse.

La pyrolyse anaérobie se produit dans une atmosphère pauvre en oxygène, comme par exemple un incendie dans un local fermé, ou encore à l'intérieur d'une flamme (Schmidt et Symes, 2015).

2.3.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE FEU

La réaction de combustion se produit généralement sous deux formes (John et DeHaan, 2000) :

- La flamme vive (*flaming fire*) ;
- Feu braisant (*smoldering combustion*).

Elles se différencient par la nature de leur combustible. Pour la flamme vive, le combustible se présente sous forme gazeuse (alimenté par les gaz combustibles issus de la décomposition thermique du solide). Pour un feu braisant, les réactions de combustion sont observées directement au sein de la matrice solide (cas du charbon de bois par exemple). Comme dit précédemment, le feu est une combustion contrôlée dans le temps et dans l'espace, alors que de l'incendie est une combustion auto-entretenu et non maîtrisée.

2.3.2.1 Le feu de flammes ou flamboyant (*the flaming fires*)

La flamme est la partie visible du produit du combustible à l'état gazeux qui brûle en présence de l'oxygène. C'est une réaction en phase gazeuse visible par les effets de la chaleur produite. Il est destructeur car sa vitesse de progression est très élevée et le dégagement de chaleur important.

Les flammes peuvent être :

- laminaires : flamme d'une bougie, avec des couches de réaction sous jacentes. Certaines zones de la flamme peuvent atteindre 1400°C ;
- turbulentes (feu de canapés, de bacs d'hydrocarbures, ...).

La plupart des incendies visibles dans la vie quotidienne (feux de cheminées, feux d'une structure, incendies de forêt) sont turbulents.

Lors d'incendies turbulents, il y a création de flammes de diffusion car les vapeurs générées à la surface du combustible diffusent vers l'extérieur. La flamme est délimitée par la zone réactive, souvent très turbulente, dans laquelle se mélange le combustible et l'oxygène. Le phénomène prédominant pilotant ce mélange est la diffusion des gaz. La turbulence et le caractère intrusif des capteurs généralement employés rendent les mesures de température de la flamme difficile, mais il a été constaté que la température monte rapidement. La température moyenne par thermocouple dans la flamme turbulente est aux alentours de 800 à 1000 °C. Pour certains combustibles (charbon de bois, méthanol) les températures de flamme montent jusqu'à 1400 °C.

Les incendies se produisant dans une atmosphère d'oxygène enrichie en énantiomère (deux molécules sont l'image l'une de l'autre par rapport à un miroir mais ne sont pas superposables, il s'agit d'effet de chiralité peuvent également produire des températures de flamme très élevées.

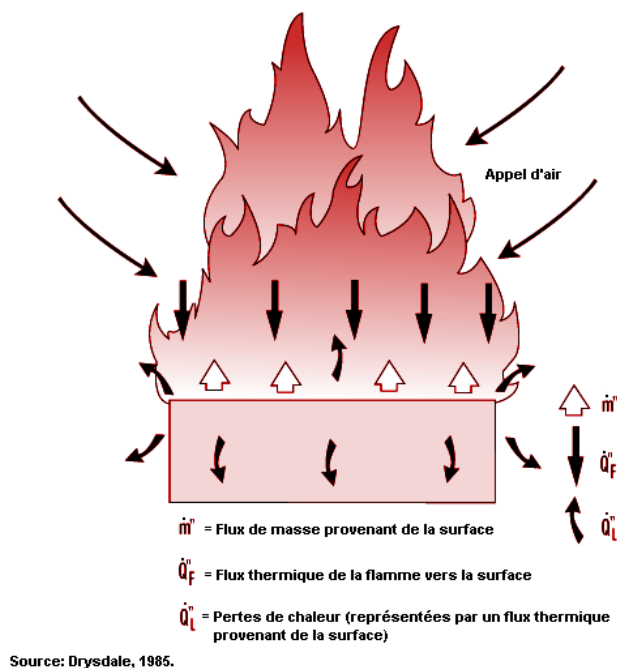


Figure 11 : Représentation schématique d'une surface en combustion permettant de représenter les processus de transfert de chaleur et de masse (Drysdale, 1985)

2.3.2.2 Le feu braisant

Un feu braisant est l'oxydation d'un combustible solide en contact direct avec l'oxygène. C'est une réaction solide - gaz, qui se produit à la surface d'un combustible, généralement poreux, comme le charbon de bois. Si cette réaction est assez rapide, la température du combustible peut dépasser les 500 °C et l'incandescence de la surface est alors visible à l'œil nu. C'est une combustion rougeoyante dont la couleur visible est liée à la température de la surface émettrice.

Couleur de la flamme	Température approximative en °C
Rouge sombre (première lueur visible)	500-600
Rouge terne	600-800
Rouge cerise brillant	800-1000
Orange	1000-1200
Jaune brillant	1200-1400
Blanc	1400-1600

Tableau 5 : Couleur de la flamme en fonction de la température (DeHann and Icove, 2012)

La plupart des incendies d'intérêt médico-légal impliquent des incendies de chambre. Par exemple, dans une pièce de taille moyenne d'environ 15 m², avec une hauteur de plafond à 2,4 m, lorsque la température moyenne de la couche de plafond atteint 600 °C, le flux de chaleur rayonnante dirigée vers le sol atteint une intensité de 20 kW/m², ce qui est suffisant pour provoquer l'inflammation de la plupart des meubles, des revêtements muraux et des sols. Lorsque cette condition est atteinte, le flashover feu se produit, les températures peuvent varier de 800 °C à 1000 °C du sol au plafond et le flux de chaleur peut atteindre 150 kW / m². Ce sont des conditions supérieures à celles trouvées dans un feu libre. Elles sont causées par le rayonnement thermique très important et par l'oxydation des suies et du monoxyde de carbone produits par les objets inflammés en partie basse, amplifiés par un mélange important entre l'air frais entrant et les gaz de combustion chauds. Lors de l'évaluation de l'exposition à l'incendie, la présence de conditions post-flashover (participation chambre complète) doit être établie par les enquêteurs de la scène ou par des témoins fiables tels que les pompiers (DeHaan et al., 2001).

2.4 LABORATOIRE CENTRAL DE LA PRÉFECTURE DE POLICE DE PARIS

2.4.1 CHAMPS D'ACTION

Le laboratoire central est la direction d'appui scientifique et technique de la Préfecture de Police de Paris. Il est placé sous l'autorité directe du Préfet de Police. Ses missions recouvrent tous les domaines liés à la sécurité générale des habitants de Paris et de la Petite Couronne. Qu'il s'agisse du déminage en milieu urbain ou des questions d'environnement, tant en risque malveillant ou accidentel, qu'en risque chronique (événement non désiré de durée d'exposition importante) en passant notamment par le feu. Son activité se déploie en un triptyque visant des interventions qui permettent d'assurer la mise en sécurité et l'appui des forces de l'ordre et l'analyse et la prévention en lien avec des actions de recherche et expertise. Cette équipe aide les autorités à discerner les causes et les circonstances des événements en se basant sur les preuves scientifiques (LCPP, 2015).

Le LCPP est organisé en 3 pôles opérationnels, chacun a des missions qui lui sont propres, dont :

- Environnement ;
- Mesures Physiques et Sciences de l'Incendie ;
- Explosifs, Interventions et Risques chimiques.

2.4.2 LES ESSAIS ET LEURS ÉCHELLES

Les essais sont répertoriés en deux grandes classes : les essais en situation réelle et les essais de laboratoire. Les essais en situation réelle sont rares car extrêmement coûteux.

Les essais dits de laboratoire se partagent en différentes échelles (Sairat et Chesné, 2005) :

- **Échelle 1**, les plus proches des conditions réelles d'un incendie, permettent de stimuler les conditions de montage pour **reproduire un scénario feu de référence**.
- **Semi grandeur ou intermédiaire**, interviennent dans des installations de taille importante pour tester un matériau dans une configuration proche de celle d'emploi.
- **De laboratoire** permettent de comprendre le comportement au feu des produits selon certains angles spécifiques (inflammabilité, aptitude à l'extinction, indice oxygène, opacité et corrosivité des fumées, analyse des gaz).

Dans cette étude, les premiers essais réalisés ont été des **essais en vraie grandeur**, ce qui permet de modéliser le feu et de reproduire l'ensemble des caractéristiques retrouvées dans un incendie parisien, à savoir la durée moyenne d'un feu de 30 minutes (LCPP, 2015), la position du corps en fonction de l'origine du foyer, les températures atteintes lors de l'incendie. La mise en place de l'ensemble de ces paramètres rend l'étude pertinente car elle est au plus proche d'un incendie réel.

Ces essais en situation conventionnelle permettent de mesurer les caractéristiques de réaction au feu qui correspondent à l'allumage, à la propagation et au développement de l'incendie provoqué par la combustion. La réaction au feu est à différencier de la résistance qui, elle, définit la durée pendant laquelle le matériau peut assurer ses fonctions malgré l'incendie. La réaction au feu fait intervenir différentes contraintes thermiques (le rayonnement, la flamme et le transfert de chaleur par convection ou par rayonnement) et aussi des contraintes environnementales. Ces essais permettent donc la mise en place de normes, qui pourront être par la suite utilisées dans des situations réelles.

3 SPHÈRE ORALE SOUMISE AUX RAYONNEMENTS THERMIQUES ET DESTRUCTIONS DANS LE CADRE MEDICO-LÉGAL.

3.1 LES TISSUS DE LA FACE

3.1.1 CARACTÉRISTIQUES HISTOLOGIQUES

Les téguments regroupent deux composants : la peau et les annexes cutanés tel que les ongles, les poils et certaines glandes. La peau est l'organe le plus étendu du corps humain, elle réalise un recouvrement complet de la face. Elle est la première barrière protectrice de l'os face aux agressions. Les variations de sa couleur permettent d'orienter les diagnostics. La peau est un organe qui contient 3 couches épithéliales : l'épiderme, le derme et l'hypoderme (Kierszenbaum, 2008).

3.1.1.1 Fonctions

Les téguments jouent différents rôles :

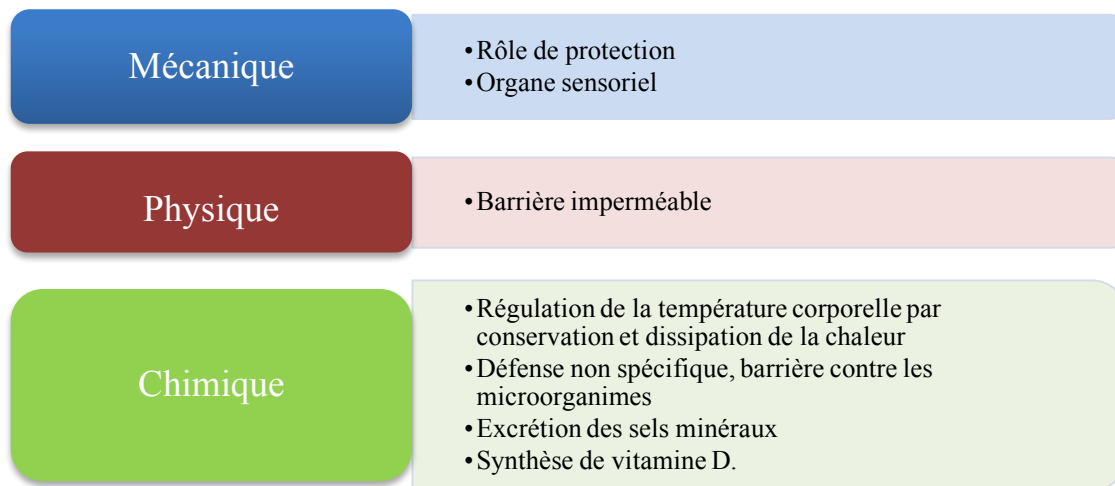


Figure 12 : Rôles et fonctions des téguments(Alberts et al., 2004):

3.1.1.2 Composition

La peau est constituée de 3 couches fortement reliées entre elles. De la plus externe à la plus interne (Kierszenbaum, 2008) :

- un épiderme externe non vascularisé ;
- un derme plus profond le derme, tissu conjonctif très vascularisé et innervé ;
- l'hypoderme ou couche sous cutanée qui correspond à la couche superficielle du tissu adipeux profond, elle est aussi vascularisée et innervée.

La vascularisation est plus importante en surface qu'en profondeur. Le derme superficiel papillaire doit apporter la pitance à l'épiderme.

Il existe deux types de peau. Une peau épaisse supérieure à 5mm qui est présente au niveau de la paume de la main et de la plante des pieds, elle présente une grande couche cornée, un épiderme et un derme épais.

Une peau plus fine 1,2mm présente sur le reste du corps, que l'on nomme l'épiderme fin (Kierszenbaum, 2008).

L'épiderme est constitué d'une couche épithéliale pavimenteuse stratifiée composée de 4 types cellulaires distincts qui sont (Alberts et al., 2004) :

- les kératinocytes divisés en 5 stratum (ou couches) : basale et spinosum qui forment à eux deux le stratum de Malpighi, granulosum, lucidum et corneum. L'ensemble constitue environ 80 % de la cellule de l'épithélium ;
- les mélanocytes ;
- les cellules de Langerhans ;
- les cellules de Merkel.

L'épiderme est une spécificité de la peau, organisé de manière simple. Il est facilement exposé aux agressions extérieures, ce qui nécessite une réparation et un renouvellement permanent.

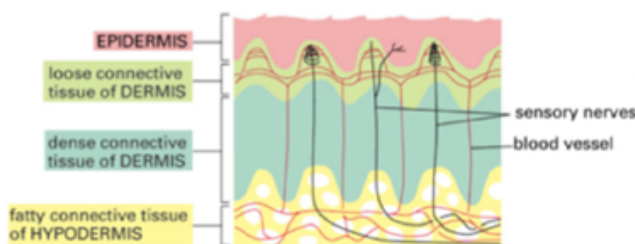


Figure 13 : Diagramme de l'architecture cellulaire d'une peau épaisse (Alberts et al., 2004)

Le derme est constitué de deux couches sans frontière distincte, une couche papillaire composée de tissu conjonctif lâche et une couche réticulaire formée d'un épais faisceau de fibre de collagène et de fibres élastiques grossières.

L'hypoderme envoie des cloisons conjonctives en profondeur. Elles constituent le septum interlobaires et délimitent des lobules graisseux qui organisent l'hypoderme. L'hypoderme est très épais au niveau des paumes et des plantes mais il est absent au niveau des paupières, des organes génétiques externes et des oreilles (Lüllmann-Rauch, 2008).

3.1.2 LES EFFETS DU FEU SUR LES TISSUS FACIAUX

Les effets du feu sur les tissus font intervenir des facteurs variables qui sont (Beauthier et Mangin, 2007) :

- action directe de la flamme ;
- chaleur radiante et des gaz chauds ;
- modification de l'air ambiant ;
- gaz nocifs provenant de l'oxydation ou de la transformation des substances ou matériaux.

L'incendie est caractérisé par la production de chaleurs et d'effluents (fumées, vapeur d'eau, par exemple). Le corps subit le rayonnement des matériaux en combustion, et celui engendré par les fumées. Les températures montent et atteignent 300 à 400 °C et la puissance de rayonnement de l'incendie devient alors intolérable pour l'être humain.

Les lésions thermiques peuvent être provoquées par un contact direct ou par rayonnement. Les viscères résistent particulièrement parce qu'ils sont protégés par les couches musculaires et le pannicule adipeux (DeHaan et al., 1999).

Dans une approche médico-légale, il est important de répondre à des interrogations (Beauthier et Mangin, 2007) telles que :

- La victime était-elle en vie au moment de l'incendie ?
- Quel était son état de santé ?
- A-t-elle été brûlée durant l'incendie ou est-elle décédée avant les faits de l'incendie ?
- Est-ce qu'il y a d'autres lésions que celles causées par l'incendie ?

Il faudra alors faire la différence entre les lésions péri et post mortem. L'attitude du boxeur ou lutteur causé par la rétraction post mortem des muscles est un exemple pouvant induire en erreur un observateur non-initié.

Tissus mous	Tissus cutanés	Dégâts post mortem importants. La peau devient noirâtre ou desséchée en fonction du temps et de l'importance de l'exposition thermique. Des déchirures transversales au niveau des plis articulaires. La peau devient ensuite charbonneuse, s'effrite et disparaît et expose les muscles. Des zones de préservations peuvent être visibles lorsque le corps est en contact avec une surface résistant à l'incendie.
	Muscles	Peuvent être bien conservés et d'apparence rouge.
	Viscères	Très souvent bien protégés.
Tissus durs	Voute crânienne	Siège d'artefacts. Le crâne éclate du fait de la pression et de la chaleur. Découverte de fractures post mortem. Importance de la distinction entre les éléments ante et post mortem.
	Os	Altération par des fissures superficielles, mais fréquentes dessinant un réseau fin longitudinal, sans aucune déformation, ni torsion. Elles peuvent être aussi transversales avec déformations et torsions sur des os verts.
	Organe dentaire (BenCheikh, 2012)	[150 – 300 °C] : craquelures et fissures [200 – 600 °C] : modifications de structure de la racine, aspects bulleux et charbonneux [300 – 700 °C] : modifications de structure de la couronne avec des chutes spontanées d'émail [900 – 1000 °C] : fragmentation de la dent

Tableau 6 : Modifications que subissent les tissus durs et mous lors d'exposition à des flux thermiques

Les effets successifs de l'incendie sur le corps humain peuvent provoquer des lésions diverses et variées provoquant des changements de couleur, de forme ou une destruction complète :

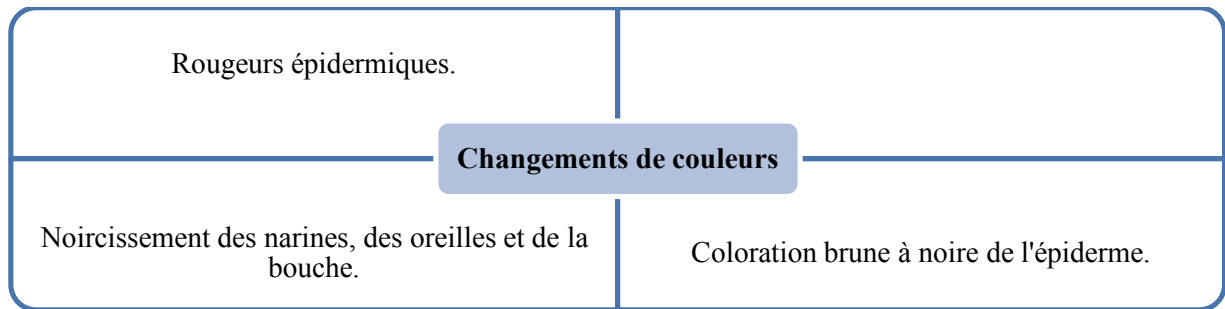


Figure 14 : Changements de couleurs provoqués par un incendie

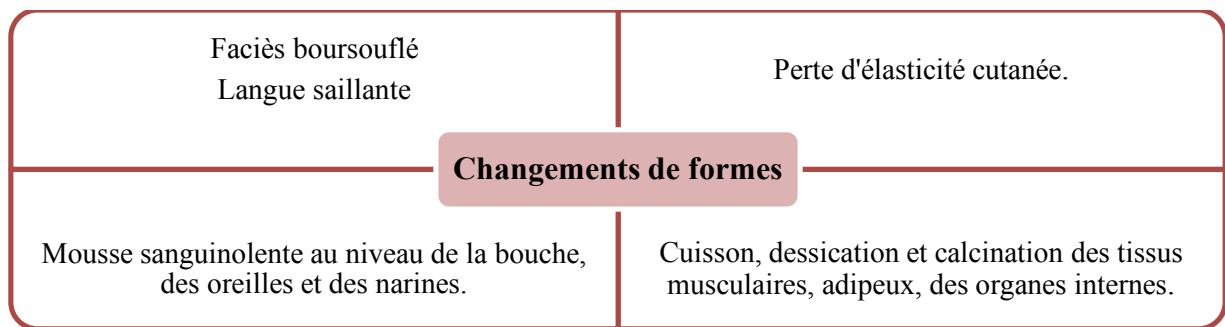


Figure 15 : Changements de formes provoqués par un incendie

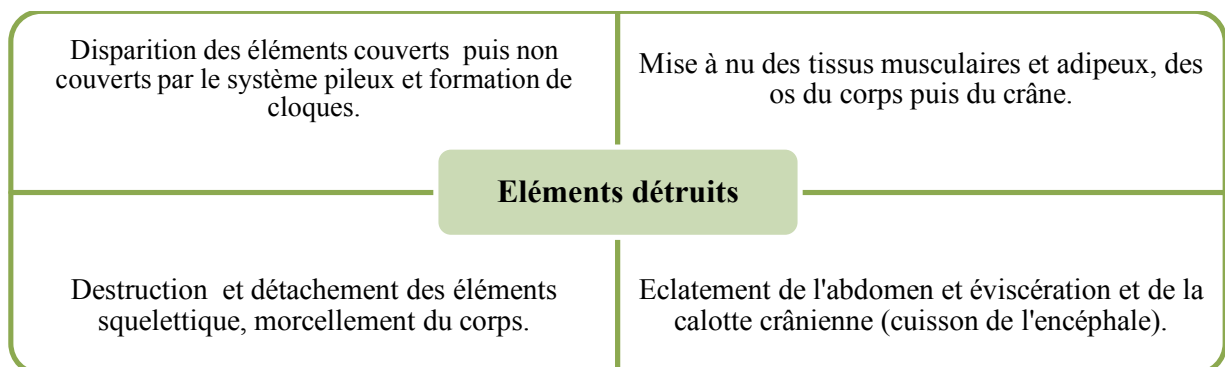


Figure 16 : Eléments détruits lors d'un incendie

Même si le feu a une action limitée dans son intensité ou dans le temps, il produit de nombreux dégâts sur le corps humain. Le cadavre subit des modifications modérées avec des rétractions articulaires pouvant être accompagnées de déchirures. La peau prend alors une teinte noirâtre,

se détache en lambeaux sur des tissus sous-jacents grisâtres. Les poils et les cheveux résistent jusqu'à 175 °C et se carbonisent entre 300 et 400 °C, les viscères sont généralement conservés. Pour une intensité thermique plus élevée et un temps d'induction plus long, la rétraction devient considérable, la peau noirâtre se carbonise, les membres se brisent spontanément et ne permettent parfois plus l'identification, les muscles disparaissent. Sous l'effet du feu, les tissus mous se dessèchent et diminuent de volume. Ils sont d'abord grillés puis carbonisés et ils deviennent ensuite des combustibles mais ce sont de très mauvais conducteurs thermiques. Un examen médico-légal de la sphère cranio-faciale suite à une crémation expérimentale avec l'élévation de la température allant jusqu'à 500 °C en 30 minutes révèle des éléments sur la carbonisation (Beauthier et Mangin, 2007) :

Sur l'os	Sur les tissus faciaux	Sur la cavité buccale
<ul style="list-style-type: none"> • La boîte crânienne est friable et cède sous une faible pression. • Les os de la face sont calcinés et friables. 	<ul style="list-style-type: none"> • La tête est recouverte d'un enduit noir charbonneux. • Les recouvrements musculo-aponévrotiques du crâne se subsistent que par lambeau. • Les tissus mous et les cartilages de la pyramides nasales sont calcinés et fortement rétractés. • Les fosses ptérygomaxillaires sont partiellement deshabitées, les tissus qui les occupaient étant réduits en masse noirâtre très friable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les revêtements gingivaux et palatins sont déchirés et partiellement disparus. • Les dents sont recouvertes d'un enduit noirâtre. • Les tissus mous de la mandibule ont partiellement disparu. • Les tables externes et les cols condyliens sont amincis. • Les tissus mous des joues sont noirs, carbonisés, durcis. • Les lèvres et la langue sont rétractées.

Figure 17 : Les effets de la carbonisation sur la face

L'examen médico-légal des structures cranio-faciales carbonisées est difficile à réaliser. Il comprendra des radiographies de face et de profil, des examens dentaires, un examen des restaurations dentaires et prothétiques, des photographies, la dissection des tissus mous carbonisés, un prélèvement des tissus pour études histologiques, sérologique, et histopathologiques, la prise de mesure anthropologique, un bilan radiographique rétro alvéolaire, la prise d'empreintes des arcades et des rugosités palatines, un prélèvement du tartre et des dépôts, et des avulsions dentaires requises (Georget et al., 2015).

Les tissus mous des lèvres, des joues, et de la langue peuvent avoir un rôle de protection. Les tissus sont calcinés et durcis, ils offrent la consistance du cuir. L'examen des structures osseuses demande un décapage mécanique et un traitement à l'acide chlorhydrique à 30 %. Il est important de prendre en compte la variation de volume des structures osseuses surtout pour les fragments isolés (Beauthier et Mangin, 2007).

Lors de l'examen médico-légal, différents degrés de brûlure peuvent être observés. En effet, il a été vu précédemment que la transmission de la chaleur s'effectue par conduction, par convection et par rayonnement. L'homme est homéotherme : il régule et contrôle sa température à 37 °C. La transmission de la chaleur provoque des brûlures (Schmidt et Symes 2015).

Stade brûlure	Caractéristiques
Premier degré	N'atteint pas l'épiderme, une faible rougeur se diffuse sur la peau avec un léger gonflement ou œdème et une hyperesthésie. Il s'agit par exemple du coup de soleil.
Deuxième degré	Brûlure dermique, elle respecte la formation de la peau ce qui facilite la cicatrisation. Elle est rouge vif, hypersensible, et forme des bulles translucides. La région brûlée est tendue et œdématiée.
Troisième degré	Brûlure profonde qui détruit la peau dans sa totalité. Elle s'étend sous les parties molles sous-jacentes. Il y a la formation d'escarres avec des taches de couleur brune, noirâtre ou jaune grisâtre. La surface devient insensible au toucher superficiel, mais la douleur est réveillée lors d'une pression profonde. Il s'agit aussi du stade d'apparition des cicatrices qui ne peuvent plus être évitées lors de la guérison.
Quatrième degré	Stade classique de la médecine légale. La thanatologie se définit comme le creusement profond dans les muscles jusqu'aux os et qui affecte le paquet vasculo-nerveux. Cette attaque au quatrième degré peut aboutir à des amputations.

Tableau 7 : Classification des brûlures (Brachet et al.)

Une escarre est une lésion cutanée d'origine ischémique liée à une compression des tissus mous entre un plan dur et les saillies osseuses définie en 1989 par la NPUAP (*National Pressure Ulcer Advisory Panel*) (Daideri et al., 2008).

3.2 LE TISSU OSSEUX

3.2.1 CARACTÉRISTIQUES HISTOLOGIQUES DE L'OS

Le squelette humain est composé de 206 os en moyenne, pouvant varier en fonction des os surnuméraires, doubles ou irréguliers. Il est constitué d'un squelette axial qui englobe les os de la tête et du crâne, l'os hyoïde, les os du rachis composé du sacrum et du coccyx sur lequel se fixe la cage thoracique et d'un squelette appendiculaire qui regroupe les os des membres supérieurs et inférieurs (Gray et al., 2006).

Les squelettes axial et appendiculaire dérivent des cellules mésodermiques alors que le squelette cranio facial dérive des crêtes neurales. Lors du développement, le premier arc branchial et le bourgeon nasofrontal donnent naissance au maxillaire et à la mandibule. L'os maxillaire se forme autour des fosses nasales, des cavités orbitaires et de la cavité stomodéale et fait intervenir une ossification de membrane comme à la mandibule. Alors que les processus condyliens de la mandibule sont édifiés par une ossification endochondrale, la mandibule est guidée initialement par le cartilage de Meckel (Goldberg M, 2015).

3.2.1.1 Fonctions

L'os joue plusieurs rôles principaux : (Chenu et Delmas, 1994) :

- de protection de l'organisme notamment du crâne et de la moelle osseuse ;
- de support des structures corporelles permettant la locomotion ;
- d'adaptation au mouvement.

Il intervient aussi dans la formation de cellules sanguines, le métabolisme phospho-calcique et le stockage de minéraux, c'est aussi le lieu de localisation de la moelle hématogène (Orcel et de Vernejoul, 1995).

3.2.1.2 Histogénèse et développement du tissu osseux et de l'os

L'ossification commence à la période embryonnaire. Elle s'effectue sous deux formes : une ossification de membrane et une ossification endochondrale. L'ossification endochondrale correspond à la transformation du cartilage en os alors que l'ossification de membrane se forme à partir du tissu conjonctif (Alberts et al., 2004).

L'ossification intramembraneuse ou de membrane est importante car la mandibule est un os plat. Les os plats font intervenir l'ossification intramembraneuse alors que pour les os longs, l'ossification est endochondrale (Orcel et de Vernejoul, 1995).

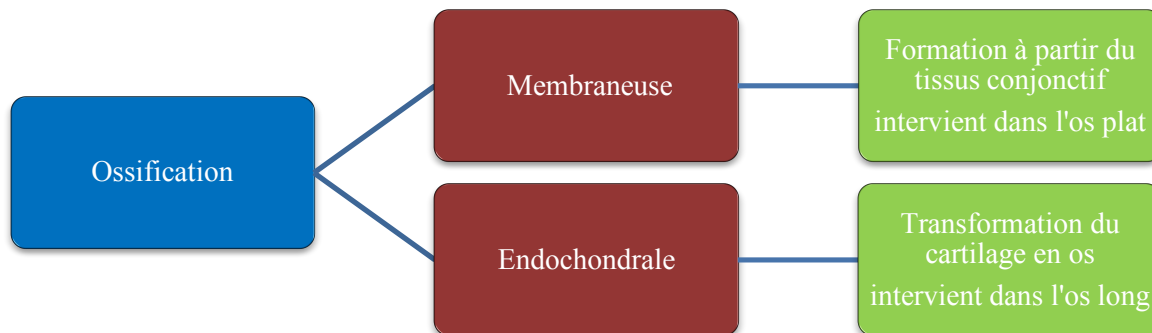


Figure 18 : Récapitulatif des deux processus d'ossification

L'os primaire est le premier à se différencier. L'ossification primaire ou diaphyse a lieu pendant la période intra-utérine, durant un temps il est non lamellaire c'est-à-dire fibreux et deviendra de l'os secondaire lamellaire. L'ossification des épiphyses, ou ossification secondaire s'effectue en post-natal. L'os secondaire, harvesien c'est-à-dire lamellaire, et remplace l'os primaire (Alberts et al., 2004).

Os et tissu osseux sont deux choses distinctes. Le tissu osseux est défini comme un tissu conjonctif dont la substance fondamentale est calcifiée. Il est rigide et solide. Le tissu osseux, non lamellaire ou primaire, intervient au cours du développement et est éphémère. Il existe jusqu'à 14 ou 16 ans et peut intervenir pour la réparation de fracture ou dans le cas d'ostéosarcomes. Il sera ensuite remplacé par du tissu lamellaire (Alberts et al. 2004). L'os se développe exclusivement par apposition. Il y a une construction et une destruction de celui-ci qui est intense pendant le développement et qui s'atténue une fois adulte.

L'histogénèse se définit comme la construction et la destruction du nouveau tissu osseux. Elle se fait en deux étapes : une première étape d'élaboration de la substance pré-osseuse (ostéoïde) puis une phase de calcification qui s'effectue par précipitation du calcium (Ca^{2+}) et du phosphate (PO_4^{3-}) (Kierszenbaum, 2008).

Ces deux os cortical et trabéculaire sont deux os distincts, leurs ressemblances et divergences sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

	Os cortical compact ou haversien	Os trabéculaire ou spongieux
Constituants	Collagène osseux	Collagène osseux
Cellulaires & Matriciels	Protéines non collagéniques Cellules osseuses Minéral osseux	Protéines non collagéniques Cellules osseuses Minéral osseux
Structure	80 à 90 % calcifié	15 à 25 % calcifié
Fonction	Structure et protection mécanique	Pivot de la fonction métabolique
Constitution	Colonnes cylindriques de 150 à 300 µm de diamètre. Les ostéons ou système de Havers sont parallèles au grand axe de l'os. L'ostéon est formé de lamelles concentriques entourant un canal central : le canal de Volkmann dans lequel se trouve les éléments vasculonerveux. La face interne de l'ostéon est le lieu de résorption et d'apposition alors que la face externe est au contact d'un tissu interstitiel	Travées de 100 à 150 µm d'épaisseur, anastomosées formant un réseau tridimensionnel, qui donne à l'os sa résistance mécanique optimale. Les ostéons trabéculaires forment l'os neuf.
Localisation	Partie externe des os longs Table externe et interne de l'os plat	Partie interne de l'os long, couche centrale de l'os plat, diploë et os court
Remodelage ARIF	Un cône de résorption est formé par les ostéoclastes à l'intérieur de l'os, comblé ensuite par les ostéoblastes.	Les ostéoclastes forment une lacune de Howship.
Activation		
Résorption	R : 10 jours	R : 7 jours
Inversion	I : 15 jours	I : 15 jours
Formation	F : 90 jours	F : 4 à 6 mois

Tableau 8 : Os compact et spongieux, leurs caractéristiques (Orcel et de Vernejoul, 1995)

L'os est composé de deux structures, l'os **compact** qui occupe la partie **corticale** ou périphérique et l'os **trabéculaire** aussi appelé **spongieux**.

3.2.1.3 Constitution

D'un point de vue chimique, le tissu osseux est composé de 45 % de minéraux, 30 % de substances organiques et 25 % d'eau (Alberts et al., 2004).

A- La matrice organique osseuse

La matrice organique osseuse a une composition biochimique et moléculaire qui lui est propre. Cette composition regroupe le collagène osseux, les protéines non collagéniques et le minéral osseux. Ces trois composantes sont détaillées ci-dessous.

Fibres de collagène : elles représentent 90 % de la totalité de la matrice protéique de l'os. Le collagène de type I représente 80 % du collagène de l'os (Orcel et de Vernejoul, 1995). Il est constitué :

- d'une triple hélice de trois chaînes polypeptidiques α ;
- de deux chaînes α_1 ;
- d'une chaîne α_2 .

Le collagène est riche en acides aminés notamment en proline et en glycine. La proline donne au collagène la structure en anneaux et intervient dans la stabilisation de l'hélice alors que la glycine se situe au centre de la chaîne α et est présente tous les trois acides aminés. Par tour de molécule de collagène il y a trois acides aminés. La chaîne de la molécule alpha comprend environ 1000 acides aminés. X est souvent la proline et Y l'hydroxyproline (Alberts et al., 2004).

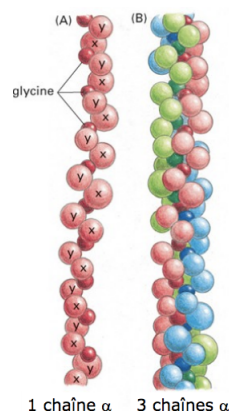


Figure 19 : Structure d'une molécule de collagène (Alberts et al., 2004)

(A) : chaîne α une sphère correspond à un acide aminé

(B) : 3 chaînes α

La synthèse de ses chaînes a lieu dans le réticulum endoplasmique de l'ostéoblaste. Puis le collagène est éjecté dans la matrice extracellulaire où des modifications par clivage interviennent aux extrémités C- et N- terminaux (Chenu et Delmas, 1994). Le collagène de type I fait intervenir un mécanisme complexe de synthèse et de sécrétion. Le type III est représenté entre 5 à 15 % , et les types IV et VII sont aussi présents pour moins de 5 % contrairement au type II qui intervient dans la constitution du cartilage.

Substance fondamentale : elle regroupe les protéines non collagéniques et représente 10 % de la fraction organique de la matrice ; 75 % d'entre elles sont synthétisées par les ostéoblastes et peuvent être différenciées en quatre groupes distincts qui sont (Orcel et de Vernejoul, 1995) :

- Protéines γ -carboxylées dont l'ostéocalcine liée à l'hydroxyapatite la protéine majoritaire qui contient des résidus d'acide dont la gammacarboxyglutamique (GLA) qui lui donne son nom de BGP (*bone GLA protein*).
- Protéines d'adhésion dont l'ostéonectine, phosphoglycoprotéine probablement impliquée dans la minéralisation de la matrice osseuse, qui permet à l'ostéoclaste de se coller à la matrice osseuse avant la phase de résorption. Deux ostéopontines BSP-I et II sont aussi des protéines d'adhésion.
- Les protéoglycanes qui sont des protéines courtes mais leur proportion est faible. Ils regroupent les glycosaminoglycanes dont la chondroïne sulfate et la kératane sulfate. Leur rôle est mal connu mais il pourrait intervenir dans la formation des fibres de collagène ou la régulation de la minéralisation.
- Facteurs de croissance dont FGF (*Fibroblast Growth Factor*), IGF-1 et 2 (*Insulin-Like Growth Factors*) et TGF- β (*Transforming Growth Factor - β*) et la famille des BMP (*Bone Morphogenetic Protein*). Ces facteurs de croissance pourraient intervenir dans le remodelage osseux et la régulation de l'activité cellulaire (Alberts et al., 2004).

Minéral osseux : La phase minérale a deux propriétés essentielles. Elle intervient dans les propriétés mécaniques du tissu osseux et sert aussi de réservoir. Elle contient 99 % du calcium, 85 % du phosphore et entre 40 et 60 % du sodium et du magnésium total de l'organisme sont contenus dans l'os. Le minéral osseux joue un rôle dans la concentration des milieux extracellulaires. Les principaux composants minéraux osseux sont le calcium et le phosphore ce qui a conduit à l'identification des cristaux d'hydroxyapatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$ qui représentent 70 % du poids de l'os. Leur taille varie de 5 à 10 nm de long par 3 à 5 nm de large

et leur épaisseur est de 1,5 à 3,5 nm. Ces cristaux ne sont pas visibles au microscope optique (Cazalbou et al., 2004).

B- Les cellules osseuses

Les ostéoclastes :

Type	Cellule multi nucléée de 4 à 20 noyaux.
Fonction	Homéostasie du calcium par résorption de l'os. Activité de phagocytose.
Localisation	Endoste / système de Havers / surface du périoste. Dans les sites actifs du remodelage osseux.
Formation	Origine hématopoïétique.
Activité cellulaire	Résorption osseuse. Synthèse et sécrétion de BSP (Sialoprotéine osseuse) et ostéopontine.

Tableau 9 : Caractéristiques des ostéoclastes (Chenu et Delmas, 1994).

Les ostéoblastes :

Ces cellules ostéoprogénitrices sont d'origine mésenchymateuse. Elles interviennent dans la production de la matrice osseuse. Ces cellules sont des cellules multi potentielles c'est-à-dire qu'elles peuvent aussi donner des cellules musculaires ou des fibroblastes (Alberts et al., 2004).

Il existe trois sous populations d'ostéoblastes :

- les ostéoblastes qui synthétisent la matrice osseuse ;
- les cellules bordantes trouvées le long de la surface des trabécules et de l'endoste ;
- les ostéocytes.

Les cellules précurseurs et les étapes de différenciation des ostéoblastes sont développés dans le tableau ci-dessous.

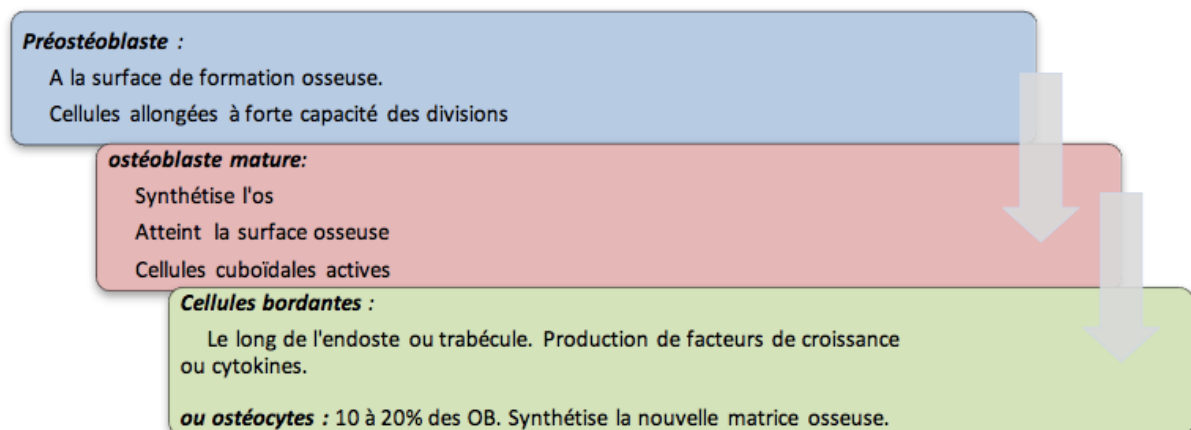


Figure 20 : Différenciation des ostéoblastes (Chenu et Delmas, 1994).

La constitution et les éléments intervenant dans la matrice organique permettent lors de l'étude à l'analyseur thermogravimétrique (ATG) de déterminer en fonction des pics de températures les matériaux qui se désagrègent. Pour chaque élément donné, il existe une température de perte à l'ATG correspondante.

3.2.1.4 Architecture de l'os

Dans l'espace, l'os se caractérise par les 3 dimensions : sa longueur, sa largeur et son épaisseur. On peut donc mettre en évidence différents types d'os. Les « os longs, courts et plats » qui sont les trois os majoritaires mais aussi les os intermédiaires, irréguliers, pneumatiques ou lamelles osseuses. Le maxillaire et la mandibule sont des os plats. Ils sont donc plus intéressants à étudier dans notre étude que les os longs ou courts (Netter, 2011).

Type d'os	Caractéristiques
Long	Les épiphyses qui portent les surfaces articulaires et les zones d'insertions musculaires et tendineuses aux extrémités sont reliées par la métaphyse qui porte le cartilage de conjugaison à la diaphyse. La métaphyse est le lieu de multiplication des chondroblastes pour synthétiser et permettre l'allongement de l'os, par une ossification endochondrale. La partie externe de l'os est constituée d'os compact alors que l'intérieur est fait de través d'os spongieux.
Court	Égaux dans leurs trois dimensions. Ils sont composés de périostes, d'un tissu osseux lamellaire compact externe appelé aussi haversien dense, d'un tissu spongieux encore nommé harvesien aréolaire et d'un tissu osseux haversien compact interne.
Plat	Ce sont essentiellement les os de la voûte du crâne. L'épaisseur est inférieure à la longueur et la largeur ; l'hypoderme du cuir chevelu est en continuité avec le périoste. Une table externe est faite d'un tissu lamellaire compact externe et d'un tissu spongieux avec des cavités présentant des parois fines qui forment la diploë. La table interne est composée d'un tissu osseux lamellaire compact (haversien dense) interne en continuité avec la dure mère. Le maxillaire, os pair et la mandibule, os impair sont deux os plats qui font intervenir une ossification membranaire.

Tableau 10 : Caractéristiques des os longs, courts et plats.

Pour évaluer les répercussions d'un rayonnement thermique sur l'os, les études réalisées ont le plus souvent lieu sur les os longs tel que le fémur.

3.2.1.5 Propriétés mécaniques

L'os a la particularité de présenter des propriétés mécaniques qui permettent de quantifier sa fragilité. Sur le plan de la biomécanique, l'os présente des caractéristiques extrinsèques et intrinsèques. Pour déterminer les paramètres extrinsèques de l'os, il est possible de mesurer sa rigidité et la force appliquée au moment de la rupture qui dépendent de la rigidité de l'os. Les paramètres intrinsèques de l'os prennent en compte sa variation morphologique, notamment déformation à la rupture, à la contrainte et le module de Young (Beaupied et al., 2007).

3.2.2 L'OS ALVÉOLAIRE, UN OS SPÉCIFIQUE

Le parodonte est un tissu qui constitue l'ancrage et le soutien de la dent. Il est constitué de deux tissus durs et minéralisés qui sont le ciment et l'os alvéolaire et de deux tissus mous, la gencive et le ligament alvéolodentaire ou desmodonte. L'os alvéolaire se forme à partir du deuxième mois de la vie intra utérine, il vient alors se poser le long de la paroi de l'alvéole. Son évolution fait intervenir les ostéoblastes et les cellules conjonctives dérivées des fibroblastes du follicule. Son développement s'effectue en continuité avec l'os basal. Le remodelage et de développement de cet os est permanent et il est fonction de la présence ou non de l'organe dentaire (Lorimier et Kemoun, 2012).

L'os alvéolaire peut être défini comme la partie des maxillaires dans laquelle sont implantées les racines dentaires, une zone arbitraire déterminée par l'apex de la dent sert de jonction entre l'os alvéolaire et le corps de la mandibule qui est constitué d'os basal. L'os alvéolaire sert de soutien et de protection à l'organe dentaire. Sa fonction, son développement et sa maintenance sont extrêmement liés à la présence de la dent (Berkovitz et al., 2009).

L'os alvéolaire est formé initialement pour intervenir dans la protection des germes dentaires puis se développent lors de l'édification de la denture. L'os alvéolaire présente différentes régions ayant des rôles et des aspects variables. Les parois des alvéoles sont formées par un os dense et compact qui forme une ligne opaque, la lamina dura dans laquelle viennent s'insérer

les fibres de collagène. La muqueuse gingivale vient se fixer sur les lames corticales externes et internes et se prolonge par l'os compact du maxillaire et de la mandibule, à l'intérieur de ces corticales se trouve un os spongieux, trabéculaire. L'os des parois alvéolaires est en continuité avec celui des corticales par un ensemble de travées qui constitue l'os alvéolaire de soutien perforé par un dense réseau vasculaire parcourant les canaux de Volkmann (Goldberg et al., 1989).

L'os alvéolaire est biologiquement labile en l'absence de contrainte mécanique. Il est en perpétuel remaniement en fonction de la croissance de l'individu, de l'éruption dentaire et de leurs mouvements. Cette souplesse lui permet en outre l'ensemble des mouvements orthodontiques : si une pression est exercée, celui-ci se résorbe, si un mouvement de traction est engendré alors une apposition osseuse sera observée. L'os alvéolaire est étroitement lié à l'organe dentaire (Auriol et Le Charpentier, 2008).

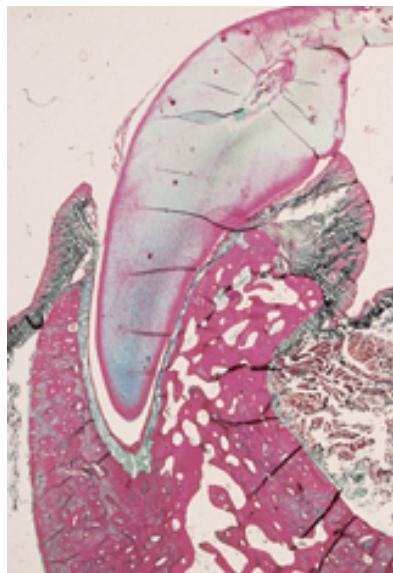


Figure 21 : Os alvéolaire. La racine dentaire a pris place dans l'alvéolaire. Un os compact, la lamina dura, est visible sur la partie gauche alors qu'à droite, est présent un os spongieux.

Le remodelage osseux s'effectue toujours par une phase d'activation ostéoclastique puis par une phase de formation osseuse. La séquence fait intervenir quatre étapes distinctes baptisées ARIF :

- activation
- résorption
- inversion
- formation.

Ce remodelage s'effectue sous forme d'apposition et de résorption. L'os alvéolaire est le seul os du corps humain dont la croissance est instable au cours de la vie. Mais son taux de renouvellement est plus rapide et plus orienté (Berkovitz et al., 2009).

Compte tenu de l'histologie de l'os alvéolaire, les résultats d'expérimentation le plus souvent réalisés sur les os longs comme le fémur peuvent apporter des informations sur le comportement thermique de l'os maxillaire lorsque celui-ci est soumis à un rayonnement thermique.

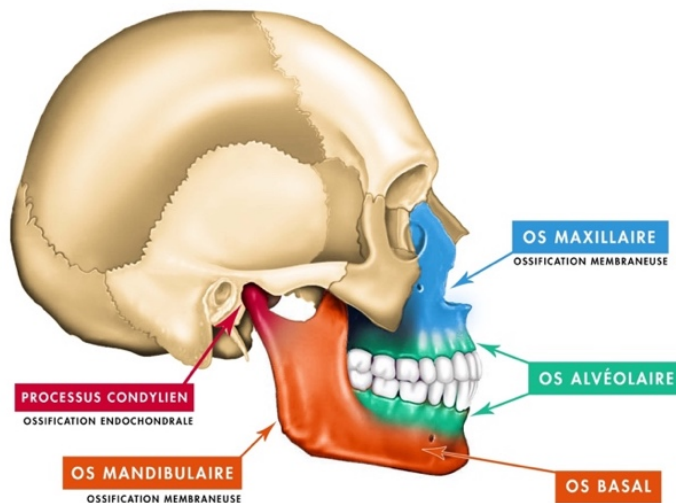


Figure 22 : Les os de la face et de leur composition osseuse.

3.2.3 EFFET DU FEU SUR L'OS

Avant de commencer cette partie, il est important de rappeler certaines définitions afin de fixer les idées.

La **crémation** consiste à brûler le corps d'un mort, peu importe la cause.

L'**incinération** est l'action de réduire le corps. La fusion de l'os intervient à 1600°C.

La **carbonisation** est la transformation d'une substance organique en charbon. Elle donne des colorations brunes foncées à noires.

La **calcination** est l'action de transformer des pierres, généralement du calcaire, en chaux sous l'action du feu. Dans le cas de crémation, il s'agit de la phase ultime au cours de laquelle la structure de l'os prend une couleur blanche et est modifiée (Beauthier et Mangin, 2007).

La crémation du corps humain est réglementée en France par l'**Article R. 2223-104 du code général des activités territoriales** qui indique que : le dépôt du corps doit se faire en moins de 20 secondes dans le four crématoire et les températures de la chambre de combustion doivent

être comprises entre [350 - 900 °C]. La durée de crémation varie de 90 à 120 minutes en fonction de la corpulence du défunt. Dans la chambre de postcombustion, les gaz issus de la chambre de combustion sont portés, même dans les conditions les plus favorables à chaque instant, d'une façon contrôlée et homogène, à une température d'au moins 850 °C pouvant aller jusqu'à 1000 °C pendant au moins 2 secondes et en présence d'au moins 6 % d'oxygène mesurée dans les conditions réelles. Un décret en 1976 permet la pulvérisation des calcius (os peu fragmentés) afin d'en faire une poudre fine pouvant être remise aux familles (Code général des collectivités territoriales, 1996).

Lors de l'évaluation de l'effet du feu sur un matériau comme le tissu osseux, plusieurs paramètres sont à prendre en compte : la température, l'atmosphère avec la présence ou non d'oxygène entrant en contact avec la zone chauffée et la durée de la contact. Ces conditions doivent être gardées à l'esprit lors de l'estimation ou lors de la reconstruction des incendies. L'os, dans un crématorium commercial peut se rapprocher des conditions réelles d'incendie, mais il ne faut pas oublier que cette exposition est à chaleur relativement constante, alors que la chaleur est variable dans la plupart des incendies (Schmidt et Symes, 2015).

Les variables de l'exposition au feu peuvent être résumées comme suit (DeHaan et al., 2001) :

- taille du feu caractérisée par son HRR ;
- exposition du corps ;
- durée de l'exposition.

Les effets de l'exposition au feu de l'os sont difficiles à mettre en œuvre. En effet, l'os est un organisme vivant qui contient de l'eau, du sang, des graisses, et d'autres tissus dans une matrice complexe (Alberts et al. 2004). Quand l'os est chauffé, chacun de ces composants répond de manières différentes. Une partie va être évaporée, une autre carbonisée. L'os peut alors se contracter, se liquéfier, ou s'épandre. La graisse corporelle est le meilleur combustible du corps (Schmidt et Symes 2015).

L'os subit alors différentes réactions (Beauthier et Mangin, 2007) :



Figure 23 : Changements induits dans l'os en fonction de la température.

Bohnert et al en 1998 ont publié des observations sur la séquence des effets dans les crémations juridiques. Les études réalisées sur des véhicules incendiés informent des effets produits lors de cycles de chauffage et de refroidissement brusques. Il peut y avoir une oxydation ainsi que des effets réducteurs. L'interprétation des dégâts doit prendre ces variables en considération. Il faut être prudent lors de l'utilisation des données des tests pour affirmer que le feu d'essai et que les conditions d'exposition sont semblables à celles vécues par les restes de la scène (Bohnert et al., 1998).

L'extinction des incendies peut affecter l'os brûlé et les dommages observés ne sont pas uniquement dû à la chaleur et aux flammes. Le refroidissement rapide par des tuyaux à pression élevée peut briser les os ou les transformer en éclats, c'est pour cela que ce type de refroidissement ne sera pas utilisé dans nos expériences (Schmidt et Symes, 2015).

En 2004, Grévin lance une étude sur les crémations en Inde et au Népal. Il étudie les phases successives de la combustion du corps. Il s'agit d'un phénomène lent et complexe. Il étudie les stades de crémation d'un corps sur un bûcher (Grévin, 2007).

Dans un premier temps, deux phénomènes sont observables et sont dus à une élévation de la température.

- Une déshydratation des tissus musculaires qui provoque une flexion des avants bras et des poignets, des doigts et des membres inférieurs, appelée généralement l'attitude du boxeur.
- Un éclatement de la boîte crânienne, provoqué par une augmentation de la pression interne de la vapeur d'eau et du gaz carbonique provenant de l'albumine du cerveau, en décomposition. Des fissures, des dislocations structurales, et des éclatements de la boîte crânienne sont observés.

3.2.3.1 L'os brûlé

L'étude de l'os alvéolaire soumis à un rayonnement thermique n'a pas encore été réalisée, qu'il s'agisse du domaine de la médecine légale, de l'anthropologie ou de l'ingénierie biomédical. Comprendre le mécanisme de dégradation de l'os alvéolaire soumis à un flux de chaleur, permettrait de mieux interpréter le processus d'isolation de la dent. L'os compact, qu'il soit humain ou animal, est souvent celui retenu lors des études sur les effets du rayonnement thermique sur l'os (Tran, 2015).

Une grande partie de la recherche initiale sur la modification thermique des squelettes humains a été développée dans un cadre archéologique visant à l'interprétation des motifs culturels de crémation. Les archéologues ont brûlé les restes humains et ont élucidé les conditions dans lesquelles l'os a été exposé au feu. Ils fondent leurs évaluations sur l'examen des facteurs tels que la position du corps, les changements de couleur, la présence de fractures et de motifs de rupture par rapport à la température et la durée de l'exposition à la chaleur (Schmidt et Symes, 2015).

En 1943, Wilton M. Krogman publie un article qui évalue des variations de l'altération induite par la chaleur sur l'os humide et sec. Des différences sur des caractéristiques physiques telles que la coloration osseuse, une fracture et une altération de la morphologie de surface ont pu être notées, en fonction de l'épaisseur des tissus mous recouvrant.

La classification temporelle post-mortem joue un rôle dans les interprétations traumatiques squelettiques. Elle cherche à savoir si un défaut est survenu lorsque l'os était frais, sec ou dégradé. Après la mort, des modifications interviennent, elles sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

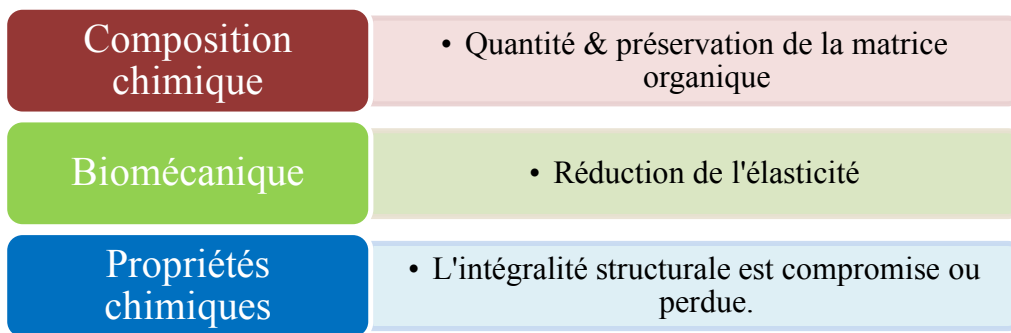


Figure 24 : Modifications intervenant dans l'os brûlé.

Ceci résulte de l'évaporation, de la dégradation biologique et de la transformation de la matrice inorganique. La perte des propriétés organiques et inorganiques est un processus complexe, pas encore complètement compris. Les chercheurs demeurent incertains sur l'exacte réaction chimique et le nombre de transitions que l'os subit en brûlant. Ce qui a été établi à partir des études descriptives et expérimentales est que l'exposition à la chaleur provoque une déformation, une rupture et une fragmentation (Thompson, 2005).

La déshydratation, la décomposition, l'inversion et la fusion sont actuellement les termes décrivant les étapes du procédé de modification de la chaleur. Shipman et al., (1984) introduisent ces termes qui sont réutilisés par Correia (1997). Le classement est basé sur des études antérieures, pendant lesquelles les modifications thermiques intervenant sur l'os sont étudiées à intervalles réguliers. Thompson, en 2004 modifie ces intervalles de temps et suggère que tous les changements de chaleur induits doivent être classés dans les quatre catégories, mais il prévient que la température n'est pas une variable fiable pour prédire ces changements (Thompson, 2004).

Il existe deux systèmes applicables à la catégorisation des degrés de modification de feu. Eckert et al., (1988) a été le premier à proposer un système qui a ensuite été popularisé par Mayne Correia (1997). Ce système de classification définit des degrés d'altération thermique par les quantités de tissu survivant. La classification comprend :



Figure 25 : Système de classification par degré d'altération thermique.

Glassman et Crow en 1996 mettent au point une échelle qui discerne cinq niveaux de destruction du corps par le feu.

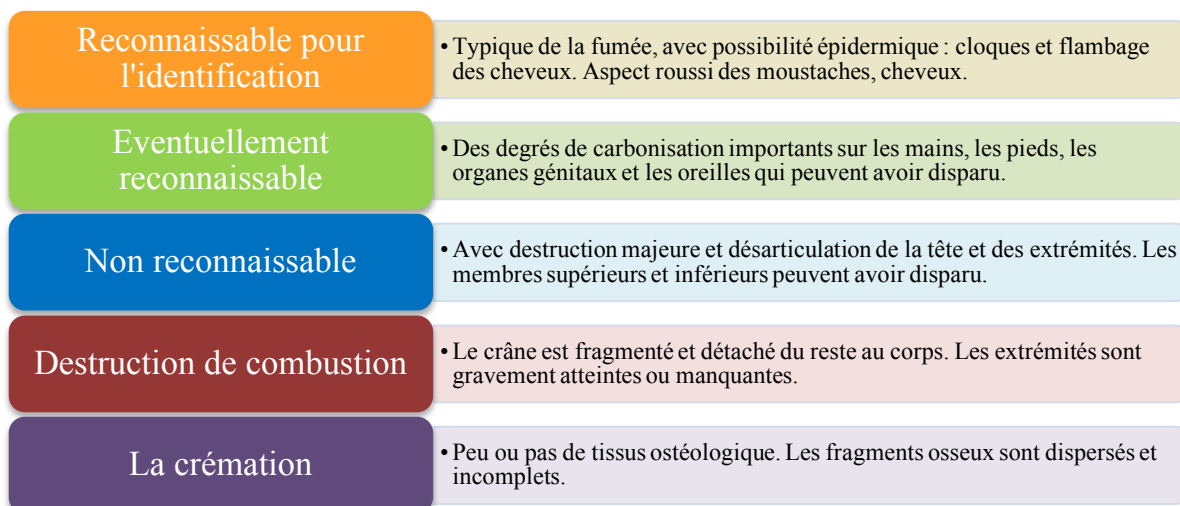


Figure 26 : Echelle de Corbeau et Glassman pour la reconnaissance humaine en fonction de la modification thermique du corps.

Dans la carbonisation d'un corps, la graisse est un bon conducteur. Malgré tout, lors d'un incendie, celle-ci est vite épuisée et les tissus mous restant du corps humain sont de mauvais conducteurs. Ces tissus ne sont combustibles que s'ils restent au contact du feu. Cinq types de carbonisation peuvent alors être décrits :

Types	Caractéristiques
Carbonisation accidentelle	<p>Phénomène non contrôlé ; l'état du cadavre dépendra de multiples facteurs dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Température du foyer ▪ Situation du corps par rapport au foyer ▪ Exposition aux flammes ▪ La composition du sujet (gras, maigre) et sa corpulence ▪ Du temps d'exposition aux flammes ou à la chaleur <p>Ces éléments font que dans un même incendie, nous pouvons trouver des corps à différents stades de carbonisation.</p>
Carbonisation criminelle	<p>Imprégnation de pétrole ou d'essence et mise à feu du combustible, 12 heures sont nécessaires pour éliminer un corps de 70 kg à l'air libre. Néanmoins des débris squelettiques et dentaires plus ou moins délabrés sont retrouvés dans les cendres. L'incinération est incomplète.</p>
L'immolation ou carbonisation suicidaire	<p>Le sujet s'enflamme après s'être arrosé de combustible. Le feu manque cependant d'oxygène ou de combustible, ce qui entraîne la mort et une destruction partielle de la personne.</p>
La crémation	<p>Technique funéraire visant à réduire les tissus organiques en cendres, les tissus minéraux restant craquelés.</p>
L'incinération	<p>Sert à obtenir une fragmentation totale des tissus organiques et minéraux. L'incinération demande l'intervention d'une action physique extérieure. Chez un homme, les cendres pèsent 2,3 kg et 1,15 kg chez une femme du résidu ultime post-incinération.</p>

Tableau 11 : Les différents types de carbonisation (Beauthier et Mangin, 2007).

Les dents résistent au feu grâce à leur degré de minéralisation important mais aussi à la protection apportée par les tissus mous et durs quel que soit le type de carbonisation. Les hautes températures et l'action des flammes engendrent des variations morphologiques des structures cranio-faciales.

Des procédures d'identification dentaire sur les corps carbonisés ont été mises en place suite à des catastrophes. Dans un même brasier, du fait d'expositions différentes aux flammes, différents degrés de carbonisation sont observables.

Georget et Laborier en 2004 mettent en place la classification des degrés de carbonisation de la tête et des dents :

Degrés de carbonisation	Léger	Important	Sévère	Extrême
Peau muscles	Souple, couleur noirâtre	Consistance cuir, noir	Très endommagés ou détruits	Détruits en totalité
Lèvres	Rempart des dents	Rétractées	Détruites	Détruites en totalité
Dents	Etat préservé	Dents antérieurs fissurées	Non protégées friables	Très endommagées
Maxillaires	Etat préservé	Carbonisation des zones antérieures	Carbonisation importante	Carbonisation voire résidus

Tableau 12 : Degrés de carbonisation de la tête et des dents.

Un protocole doit être mis en place avant d'intervenir car le matériel humain carbonisé demande des manipulations précises du fait de tissus fragilisés. Ce protocole est résumé ci-après (tableau 13).

Degrés de carbonisation	Léger	Important	Sévère	Extrême
Photographie	Oui	Oui	Oui	Si possible
Emballage tête	Non	Oui	Oui	Si possible
Tamissage du site	Non	Si nécessaire	Oui	Oui
Radiographies	Rétroalvéolaire (RA)	RA et tunneling scanner	RA et tunneling scanner	RA dent posée sur le capteur
Prélèvements des maxillaires	Si nécessaire	Oui	Dissection des tissus mous avant prélèvement	Récupération de l'ensemble des fragments
Nettoyage	Brossage	Attouchement avec coton / eau	Attouchement avec coton / eau	En fonction des restes
Reconstitution	Colle cyanoacrylate	Colle cyanoacrylate, cire	Colle cyanoacrylate, cire	Cire
Photographie	Plans conventionnels	Plans conventionnels	Meilleurs plans possibles	Fragments et prothèses
Odontogramme	Oui	Description des dents antérieures difficile	Problèmes de nomenclatures	Problèmes de nomenclatures

Tableau 13 : Protocoles d'examen et degrés de carbonisation (Georget et al., 2014)

Cette étude évalue comment les délais de récupération à court terme peuvent affecter la qualité et la quantité d'os brûlés récupérés d'une scène de feu mortelle. La connaissance des tendances de la fragmentation des post-combustions permettra aux chercheurs d'ordonner la récupération des restes et de mettre en œuvre les protocoles de récupération. Pour ce faire, des fragments d'os de porc calcinés récupérés 0 ; 24 ; 56 et 168 heures (1 semaine) sont comparés après brûlures expérimentales dans une série d'incendies à bois. Les fragments osseux ont été triés en 12 catégories basées sur la taille et le poids. Les résultats révèlent des augmentations marquées de la fragmentation lorsque la récupération est retardée de 24 heures, mais moins de changement de fragmentation entre 24 et 56 heures de retard lorsque la rupture est réduite dans les fragments les plus gros. Entre 56 et 168 heures de retard, de grandes augmentations de la fragmentation ont eu lieu sur toutes les tailles de fragments. Ces résultats indiquent que les retards de récupération à court terme (24 heures) peuvent être préjudiciables. Les retards de 56 heures sont moins significatifs. Les délais à long terme (168 heures) sont très préjudiciables (Waterhouse, 2013).

3.2.3.2 Changements induits thermiquement sur l'os

La chaleur induit sur l'os brûlé des fractures biomécaniques. Les anthropologues ont étudié les fractures thermiques durant plus d'un siècle, de nombreux systèmes de classification ont été proposés durant le vingtième siècle (Binford et al., 1996).

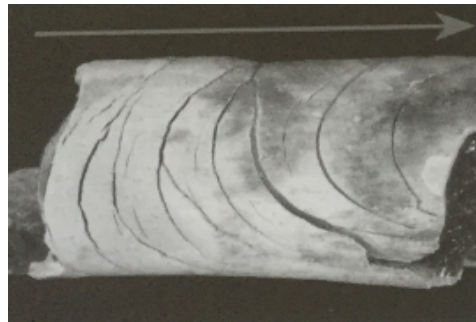


Figure 27 : Fracture transversale incurvée (Schmidt et Symes, 2015).

Ces classifications comprennent des ruptures qui peuvent être listées comme suit (Schmidt et Symes, 2015) :

Fractures	Caractéristiques
Longitudinale	Les plus communes sur les os longs, se produisent de façon prévisible. La chaleur provoque l'évaporation et la dénaturalisation, la matrice osseuse diminue et facilite les défaillances structurelles.
Transversale	Egalement fréquentes. L'épaisseur du tissu, et la posture pugilistique peuvent entraver cette progression d'un côté, tandis que du côté exposé l'os se consume rapidement.
De l'étape	Traverse l'os compact d'une fracture transversale à l'autre.
Patina	Fractures superficielles. Apparaissent comme une maille fine de fissures. Dans les zones plates des os du crâne ayant reçu des quantités uniformes de chaleur. Une réduction de l'os cortical superficiel par la chaleur induit ces fractures.
Splintering/ Délaminage	Caractérisées par la séparation à distance des couches d'os cortical et de l'os spongieux, la séparation des tables internes et externes de l'os crânien, ou l'exposition de l'os spongieux sur épiphyse.
Ligne de Burn	Elles séparent les os brûlés des os non brûlés. Elles sont observables lors des reconstitutions.
Transversale incurvée	Résultat de la chaleur sur l'os et de la fissuration des tissus mous protecteurs ou le périoste rétrécit en tirant la surface de l'os friable modifiée par la chaleur.

Tableau 14 : Stades de fractures et leurs caractéristiques (Schmidt et Symes, 2015).

Nossintchouk et al., ont réalisé une étude macroscopique et colorimétrique sur la carbonisation de l'os expérimentale, les modifications s'effectuent selon plusieurs phases :

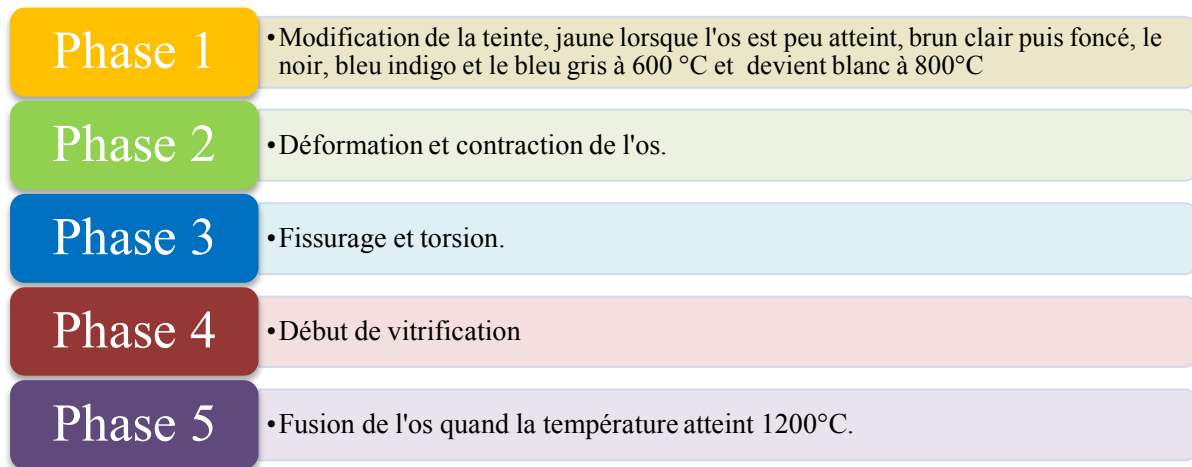


Figure 28 : Modification macroscopique et colorimétrique de l'os suivant les étapes de la carbonisation.

3.2.3.3 Modifications chromatiques induites sur l'os

Le changement de couleur se produisant dans l'os frais pendant la combustion est important pour le diagnostic. La chaleur induite sur l'os produit un gradient de couleur, elle joue aussi sur la déshydratation de l'os et sur le retrait du tissu musculaire. Les anthropologues ont discuté et débattu des changements de couleur de l'os brûlé pendant des décennies, mais ils ont encore à définir l'implication exacte pour l'interprétation des restes brûlés (Schmidt et Symes, 2015).

Les os et les tissus ont de mauvaises propriétés de conduction thermique. L'os qui rentre en contact direct avec les flammes subit des modifications physico-chimiques, des rétrécissements et des changements de couleurs. Entre 700 et 800 °C il y a une fusion des cristaux d'hydroxyapatites qui se cristallisent en unités plus grandes les β tricalciumphosphate. Le rétrécissement moyen en longueur est de 10 % à 15 % et de 25 % en largeur.

Les changements de couleur provoqués par la dénaturation de l'os dû à l'augmentation de la température sont les suivants (Grevin, 2007).

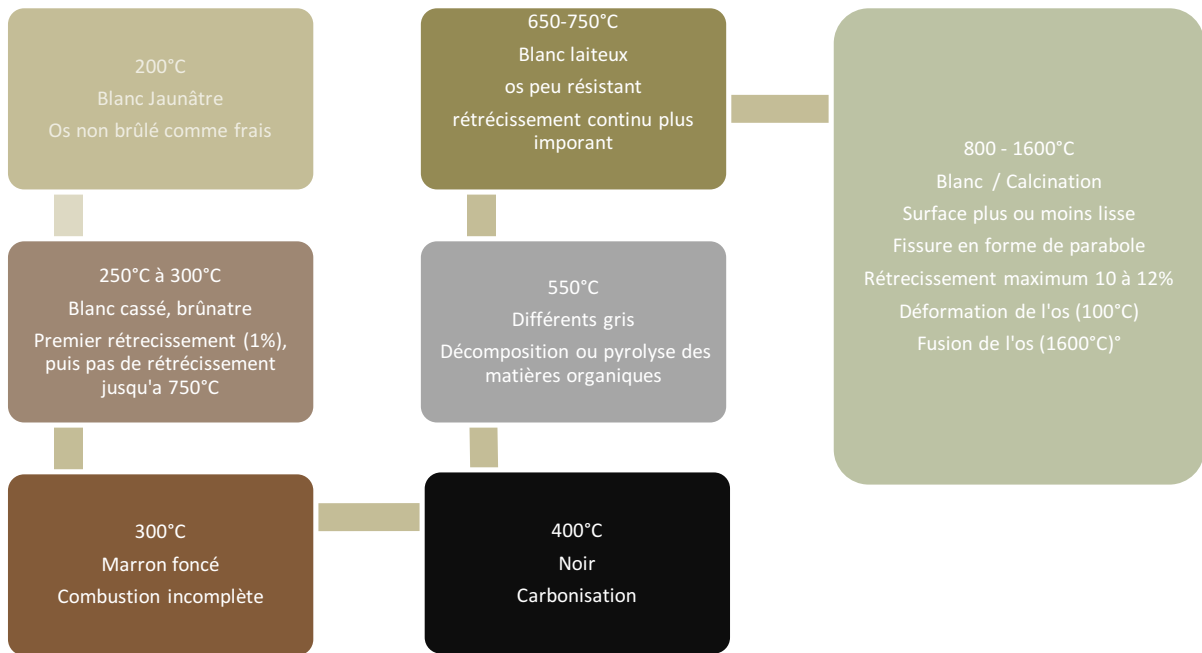


Figure 29 : Couleur de l'os en fonction de la température.

Ces changements de couleur sont liés à :

- la durée d'exposition de la flamme ;
- la température du foyer ;
- le tirage du feu.

L'action du feu n'est pas uniforme, un même os ne subira pas les mêmes contraintes.

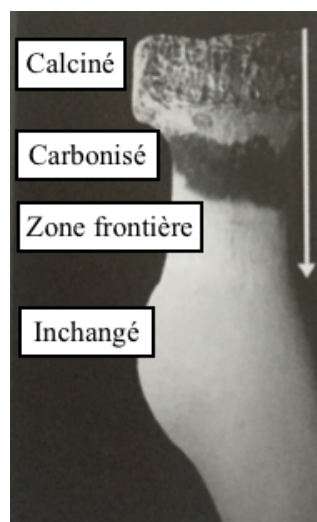


Figure 30 : Changement induit thermiquement sur un radius avec la direction du flux de chaleur (Schmidt et Symes 2015).

Les changements de couleur que subit l'os brûlé ont de nombreuses appellations. Il a été tenté d'établir une corrélation entre les changements chimiques de l'os brûlé avec des bandes de couleurs reconnaissables. Cette analyse offre des classifications de couleurs distinctes pour les os inchangés et la chaleur modifiée. Les catégories proposées et définies pour les os de chaleur modifiée sont les suivantes :

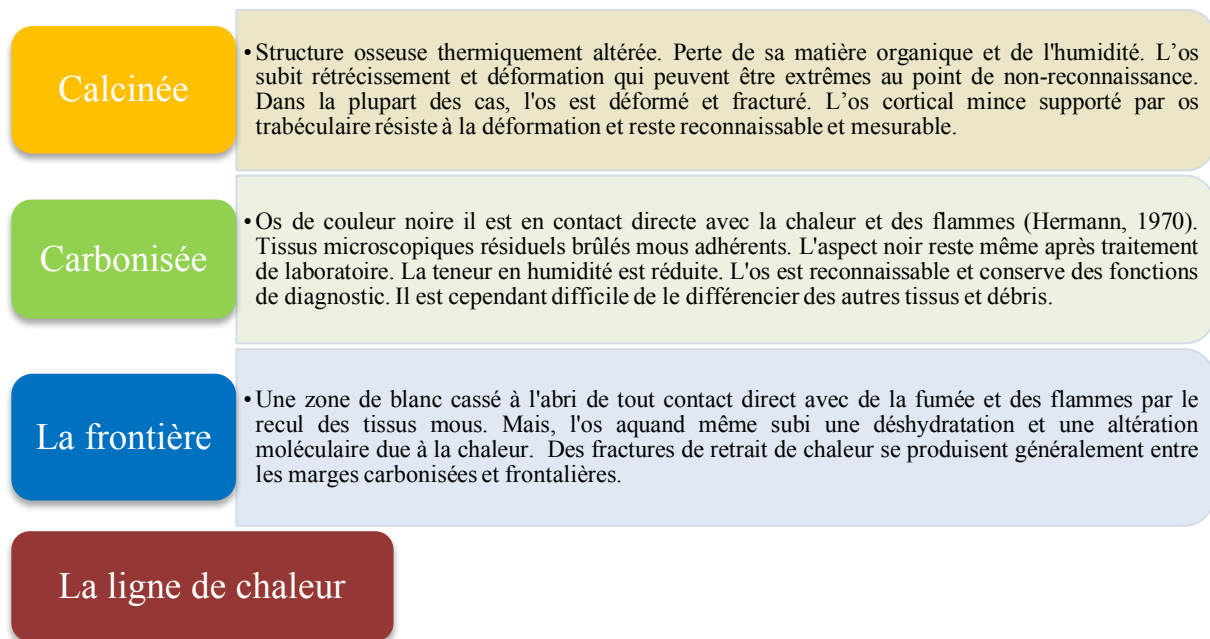


Figure 31 : Changement subi par l'os en fonction du degré de carbonisation (Schmidt et Symes, 2015).

3.2.3.4 Perte de masse du tissu osseux soumis à un rayonnement thermique

Précédemment il a été défini que le tissu osseux est composé de (Alberts et al., 2004) :

- 45 % de minéraux (cristaux d'hydroxyapatite, tricalcium de phosphate ;
- 30 % de substances organiques (collagène et protéines) ;
- 25 % d'eau.

L'ATG liée à la spectrométrie de masse (TGA-MS) montre des changements de masse et identifie les gaz dégagés lorsqu'un matériau est chauffé. Le chauffage à 600 °C a permis de classer les échantillons d'os en deux groupes :

- haute teneur en matière organique ;
- faible teneur en matière organique.

A des températures plus élevées, la phase minérale de l'os se décompose dans l'air ou l'argon à 800 °C à 1000 °C (phosphate β -tricalcique (TCP) et l'hydroxyapatite (HAP)). Dans le dioxyde de carbone, la décomposition est retardée, ce qui indique que les changements observés dans l'air et l'argon sont le résultat de la perte d'ions carbonate du minéral. Il a été déduit qu'en fonction de la composition organique de l'os, celui-ci n'aura pas les mêmes comportements face au feu (Mkukuma et al., 2004).

Une analyse de la décomposition thermique du fémur humain a été réalisée de 25 à 1000 °C. Dans cette gamme de température, la courbe différentielle de perte de poids primaire a donné quatre pics distincts pour le fémur. A l'aide des données thermogravimétriques sur le collagène tendineux, les quatre pics observés ont été identifiés comme suit :

Températures des pics	Modifications associées
127 °C	Dissociation de l'eau du collagène
331 °C	Décomposition de la molécule de collagène
402 °C	Décomposition des composants organiques résiduels associés au collagène
747 °C	Perte d'eau et transformation de l'apatite inorganique et de la protéine résiduelle qui n'ont pas été décomposées à basse température

Tableau 15 : Relevés des pics de température et modifications associées.

En moyenne, la perte de poids totale jusqu'à la température d'environ 1000 °C était d'environ 35,64 % pour une ATG sous air et de 36,45 % sous diazote (Lim, 1975). Une perte de masse plus importante de [35 – 40 %] a été observée dans une étude française (Zazzo et al. 2009). Une étude de l'os fémoral compact humain a aussi été réalisée en 2011 par Miculescu. L'os a été soumis pendant 2 heures à des températures de 200, 600 et 1200 °C puis analysé à ATG à des températures variant de [25 – 1250 °C] avec une augmentation de 10 °C / min sous air puis sous diazote. Le choix de ces températures est souvent retrouvé dans la littérature, en effet plusieurs

études ont été menées sur la décomposition osseuse, et l'os reçoit régulièrement un rayonnement thermique similaire (200 ; 600 ; 1200 °C) (Joschek et al. 2000) (Rho et al. 1998) (Stan et al. 2009). L'étude de Miculescu a mis en évidence :

Températures Pics	Caractéristiques pics	Perte de masse
[70 – 80 °C]	Pic endothermique	5 à 10 % de [50 – 200 °C]
[350 – 600 °C]	Pic exothermique	Déshydratation de l'échantillon
		20 à 30%, décomposition organique et libération de produits volatils.
1250 °C		42 % de perte de masse totale

Tableau 16 : Pics de température, leurs caractéristiques et pertes de masse (Miculescu et al. 2011)

L'ATG peut être utilisé afin de trouver une correspondance entre l'âge osseux post mortem et la perte de masse pour réussir à avoir un moyen de datation osseuse pour les os dont l'âge est supérieur à 2 ans (Onishi et al. 2008) (Raja et al. 2009) (Villanueva et al. 1976). Déterminer l'âge osseux de façon précise est un objectif pour les scientifiques légistes. Raja a dans son étude utilisé ATG pour examiner des échantillons d'os de porc d'âge post-mortem différents.

L'analyse de l'os dans deux atmosphères distinctes comparées (air et l'azote), révèle une diminution de la perte de masse totale au fur et à mesure que les os vieillissent : plus l'os est jeune, plus la perte de masse au cours de la dégradation est importante. Dans l'air, deux étapes de perte de masse dues à la décomposition des composants organiques de l'os ont été observées et montrent une décroissance de perte de masse avec l'âge, alors que dans une atmosphère d'azote, la décomposition a été observée comme étant plus complexe et la dépendance à l'âge de la perte de masse pour chaque étape n'a pas été identifiée. Les données de l'ATG démontrent le potentiel de la technique comme un moyen d'estimer l'âge post mortem des échantillons osseux légaux (Raja et al. 2009).

Températures	Caractéristiques de la perte de masse
50 – 200 °C	Perte d'eau
600 °C	Décomposition des matières organiques
650 – 850°C	Sous air : Émancipation du CO ₂ de l'hydroxyapatite carbonée. Sous N ₂ : Décomposition des produits de la pyrolyse

Tableau 17 : Correspondance entre les pertes de masse et les températures chez l'os de porc (Onishi et al. 2008)

4 ÉTUDE DE LA DÉGRADATION PAR LE FEU DE L'OS ALVÉOLAIRE ET BASAL.

4.1 PROBLÉMATIQUE, OBJECTIF ET INTÉRÊT DE L'ÉTUDE

Cette étude est réalisée en lien avec les ingénieurs et les techniciens de la section d'ingénierie du feu du Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris (LCPP).

La problématique actuelle est l'utilisation d'indices biologiques comme indicateur médico-légal dans le cadre de la carbonisation afin de mieux comprendre les conditions de l'incendie et les étapes de carbonisation de l'os.

Le but de cette étude est d'analyser et d'étudier le comportement physico chimique de l'os alvéolaire et basal soumis au rayonnement thermique à l'aide d'outils de caractérisation et d'analyse réalisés à l'aide d'essais en vraie grandeur. Ainsi, il sera alors possible de calculer les vitesses de perte de masse osseuse au cours des rayonnements thermiques, le taux de chaleur absorbée et dégagée par l'os dans des conditions préalablement définies. L'objectif est de montrer que l'os peut être l'un des éléments permettant de déterminer les paramètres et les conditions d'un incendie et d'évaluer la température d'exposition à laquelle le corps humain a été soumis lors de sa mort.

Par ailleurs, lorsque la dent est exposée à de fortes températures, en dehors du tissu adipo-musculaire, le tissu osseux alvéolaire et basal est l'une des structures isolantes la plus importante. Ainsi, étudier le comportement thermique de ces os permet de mieux comprendre le mécanisme d'isolation de la dent.

Afin d'étudier les vitesses de perte de masse osseuse au cours de l'exposition thermique, l'analyseur thermogravimétrique (ATG) est un outil essentiel. L'ATG permettra de mettre en évidence les caractéristiques entre l'os sain et l'os brûlé, de comparer les zones antérieures (A), médianes (B) et postérieures (C) dans un même feu ou non, d'analyser les vitesses de pertes de masse de l'os sain et brûlé et aussi de comprendre quels sont les produits perdus lors d'un rayonnement thermique et à quelle température.

4.2 PROTOCOLE D'ÉTUDE

4.2.1 SITE ET DISPOSITIF

Les essais sont réalisés sur le site du LCPP situé au Fort de la Briche à Saint-Denis (93). Le dispositif expérimental est implanté dans le caisson de transport maritime de 20 pieds. Le poste central des mesures (PC) et le matériel d'enregistrement sont installés dans le bâtiment prévu à cet effet au rez-de-chaussée du bâtiment contigu à l'aire d'essai sur laquelle est implanté le caisson maritime (dimensions intérieures 5,9 x 2,4 x 2,4) dans lequel sont effectués les essais.



Figure 32 : Caisson maritime servant pour les essais.

4.2.2 CONDITION DE L'ESSAI, AMÉNAGEMENT ET FOYER

Dans cette étude, des têtes entières de cochons sont soumises à un rayonnement thermique. Toutes les têtes sont saines, elles font 5 kg. Les bêtes ont été tuées 3 jours avant l'étude et âgées de 8 à 10 mois soit, une équivalence de 20 ans chez l'homme (Barone, 1976). Afin de pouvoir étudier la dégradation de l'os en se rapprochant des paramètres d'un incendie domestique, les conditions d'un feu réel sont reproduites. L'objectif futur est de pouvoir, dans certaines enquêtes, évaluer la durée et la température d'exposition de l'os au feu. Les essais se déroulent sur deux jours (le premier jour sont préparées les têtes, le matériel et déclenchement d'un feu est effectué, et deux feux sont lancés le deuxième jour). Le dispositif expérimental est implanté dans un caisson de transport maritime en forme de « L ».

A l'intérieur de ce caisson, cinq zones sont différenciables :

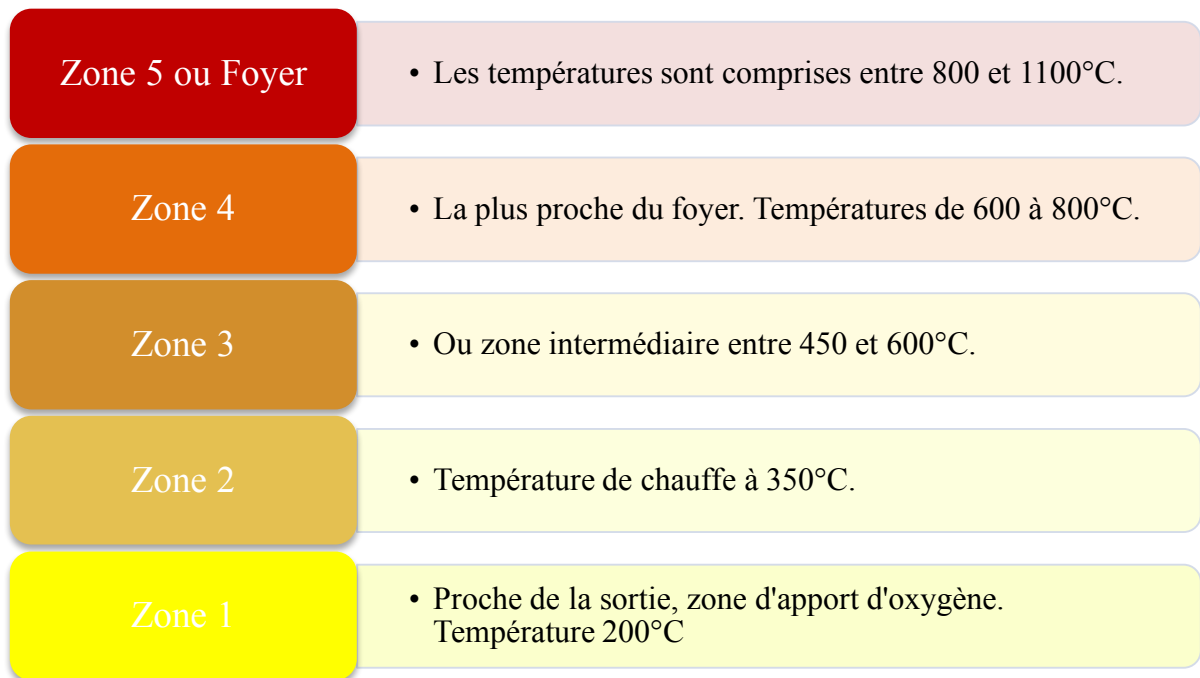


Figure 33 : Les zones et leurs températures (LCPP, 2015).

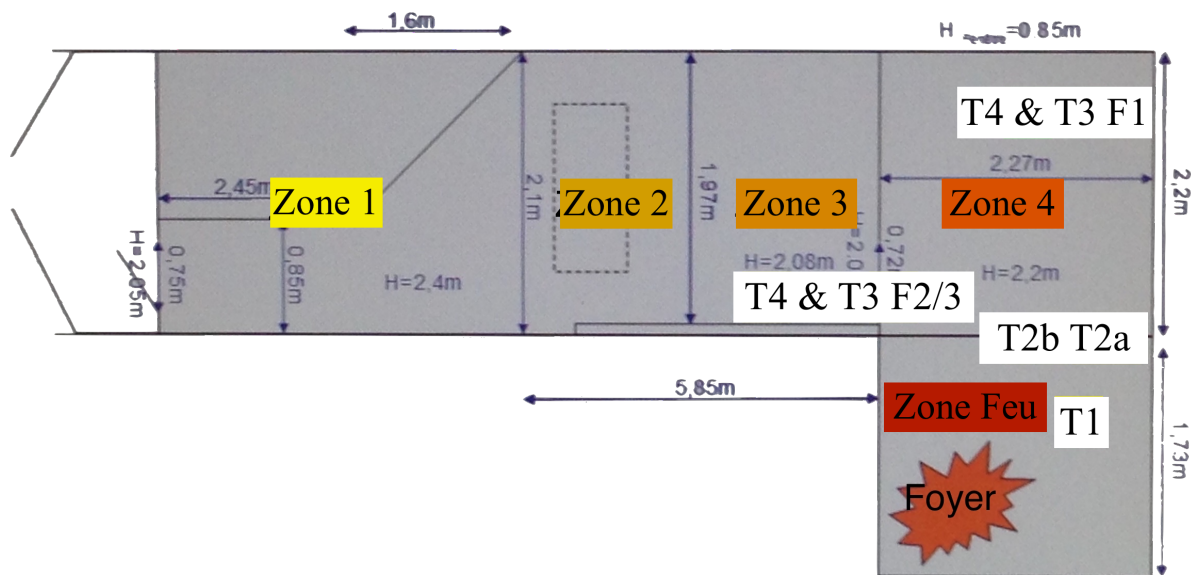


Figure 34 : Descriptif du caisson de transport maritime dans lequel les expériences ont eu lieu (LCPP).

Les quantités de combustible sont prévues pour obtenir des feux de 20 minutes. Le temps moyens d'un incendie parisien a pour moyenne 30 minutes (LCPP, 2013). Le combustible majoritaire est constitué de 5 palettes normalisées (soit 110 kg de pin). L'allumage est assuré à l'aide d'une torche enflammée et de 300 mL d'heptane.

Les essais sont réalisés dans les conditions météorologiques suivantes :

Jour 1 : 05/09/16 : température extérieure 17°C +/- 1°C, temps humide et pluvieux.

Jour 2 : 06/09/16 : température [20 - 22°C], temps humide et nuageux.

4.2.3 LES ESSAIS

Trois essais sont réalisés. Dans chaque caisson, 5 têtes de cochons sont préalablement disposées à des distances variables du foyer de l'incendie, à des orientations et hauteurs variables.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Tête 1 : T1	0,5m du foyer Orientée couche feu Au sol	0,5m du foyer Orientée couche feu Au sol	0,5m du foyer Orientée couche feu Au sol
Tête 2a : T2a	1,5m du foyer Orientée face Au sol	1,5m du foyer Orientée face Au sol	1,5m du foyer Orientée face Au sol
Tête 2b : T2b	1,5m du foyer Orientée couche feu Au sol	1,5m du foyer Orientée couche feu Au sol	1,5m du foyer Orientée couche feu Au sol
Tête 3 : T3	T3 vert 3m du foyer Orientée couche feu 1,30m du sol	T3 jaune 2,8m du foyer Orientée de face 1,60m du sol	T3 jaune 2,8m du foyer Orientée de face 1,60m du sol
Tête 4 : T4	T4 vert 3m du foyer Orientée couche feu Au sol	T4 jaune 4,1m du foyer Orientée de face 1,60m du sol	T4 jaune 4,1m du foyer Orientée de face 1,60m du sol

Tableau 18 : Caractéristiques des têtes durant chaque essai.



Figure 35 : Tête 1 à 50 cm du foyer au sol, orientée couche feu avec thermocouples en place.

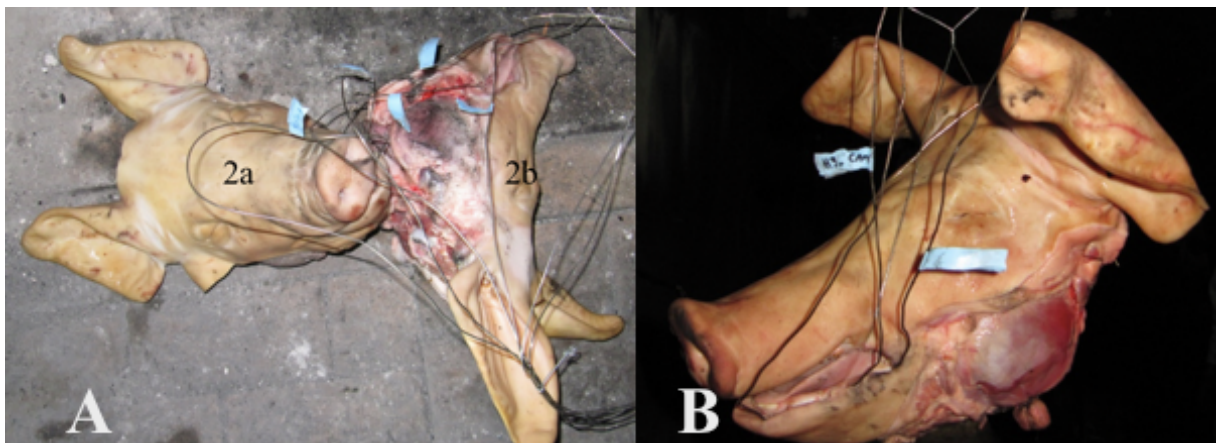


Figure 36 : A : Tête 2a et 2b situées à 1,5m du foyer au sol, orientés face au foyer pour 2a et couche feu pour 2b

B : Tête 4 à 4,1m du foyer et 1,6m de haut, orientée de face avec mise en place des thermocouples

La tête 1 est dans la zone de flash-over. Dans l'essai 1, les têtes 3 et 4 ne reçoivent que de l'énergie par rayonnement alors que les têtes 1, 2a et 2b reçoivent de l'énergie par convection et par rayonnement. Sur chaque mâchoire de cochon, 3 thermocouples de type K et de diamètre 1,5mm sont implantés dans l'os mandibulaire. Un capteur se situe au niveau antérieur incisivo canin zone antérieure (A), là où les dents et l'os sont le plus souvent dégradés et touchés bien que protégés en partie par les tissus de soutien dont les lèvres et les joues, un autre sera placé dans la partie médiane de la mandibule zone B au niveau des canines et l'autre au niveau des molaires zone postérieure (C) (Figure 38).

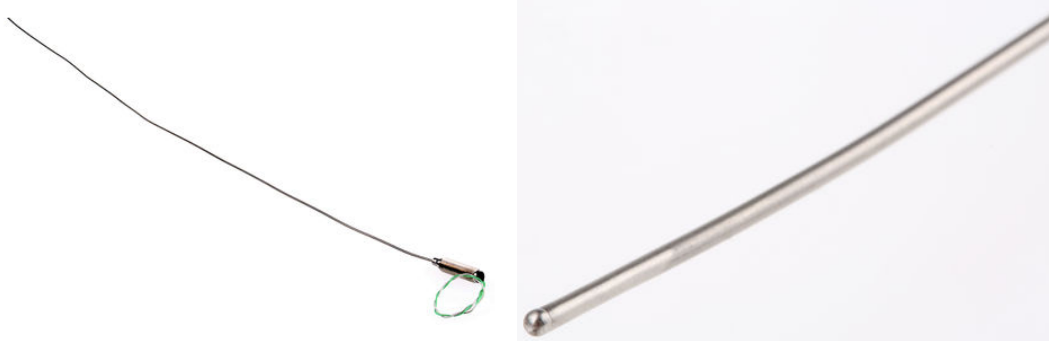


Figure 37 : Thermocouple de type K

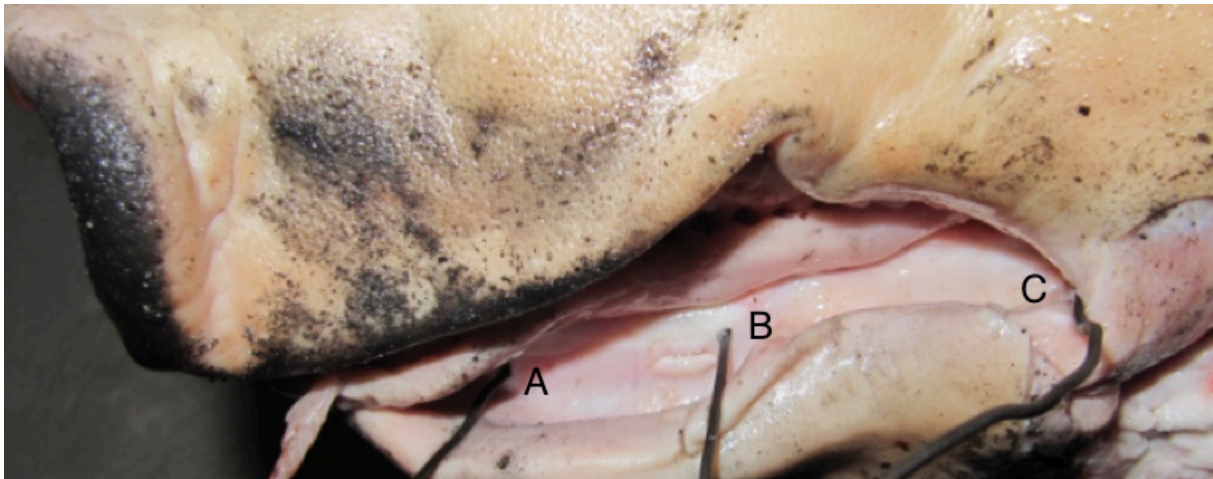


Figure 38 : Zone antérieure (A), médiane (B) et postérieure (C) d'implantation des thermocouples.

4.2.4 PROTOCOLE DE L'ESSAI

Différentes étapes de préparation ont été nécessaires pour permettre la mise en place de ces essais :

Etape 0 : Préparation des têtes de porc, à l'aide d'un moteur d'implantologie W&H implanmed 1m80 avec pédale SN-1, et d'un foret pointeur 020 KOMET. Des forages dans les zones antérieure (A), médiane (B) et postérieure (C) d'implantation des thermocouples sont réalisés. Des prélèvements d'os sain à l'aide d'un trépan de chirurgie sont nécessaires afin de pouvoir ultérieurement les comparer à l'os brûlé, les prélèvements se trouvent juste en dessous des zones où les thermocouples ont été implantés et se font dans l'os alvéolaire.

Etape 1 : Préparation du caisson pour le préchauffage à l'aide de deux palettes, la séance dure environ 30 minutes et la température monte jusqu'à 90 °C environ. 90 minutes d'attente sont nécessaires avant de pouvoir aller positionner les têtes dans la zone feu.

Etape 2 : Préalablement à l'essai, est entrepris une synchronisation entre : e-boîtier maître e-reader et le PC faisant l'acquisition et aussi l'ensemble des ordinateurs ayant pour fonction l'enregistrement ou l'acquisition.

Puis l'installation des têtes et des thermocouples est effectuée. Chaque thermocouple est testé préalablement et annoté. Par exemple, la courbe 0,5 Foyer Inc, correspond à un thermocouple qui doit être implanté dans la tête 1 au niveau de la zone incisive. Chaque tête est positionnée dans une zone préalablement définie.

Etape 3 : Brûlage. L'embrase est réalisé à l'aide de 300 mL d'heptane C₇H₁₆ et d'une torche enflammée. Un technicien rentre alors à l'intérieur du caisson et embrase les 5 palettes. Le feu est lancé. Les combustibles sont calibrés de façon à ce que le feu dure 20 minutes. Durant cette phase, chaque thermocouple est relié à un ordinateur qui analyse la température de la zone voulue et l'évolution de la température de nos thermocouples est suivi sur l'ordinateur.



Figure 39 : Porte ouverte, située à 11,73 m du foyer de l'incendie, qui prend feu 20 minutes après l'allumage.

Après cette phase, les têtes sont retirées une à une, à des temps précis, afin d'être le plus reproductibles possible entre chaque essai.

	Essai 1 J1 départ 15h45 Lundi 5 septembre 2016	Essai 2 J2 départ 11h39 Mardi 6 septembre 2016	Essai 3 J2 départ 14h57 Mardi 6 septembre 2016
Tête 1	58min 00s	40min 00s	40min 00s
Tête 2a	41min 25s	39min 40s	40min 00s
Tête 2b	40min 50s	39min 40s	39min 30s
Tête 3	39min 00s	39min 10s	39min 00s
Tête 4	38min 15s	38min 10s	38min 20s

Tableau 19 : Temps de retrait des têtes à chaque essai.

Etape 4 : Prélèvements : après chaque essai les zones antérieure (A), médiane (B) et postérieure (C) dans lesquelles sont posés les thermocouples. Les prélèvements sont effectués à l'aide d'un trépan de chirurgie de 6 mm, monté sur un moteur d'implantologie à irrigation constante par du sérum physiologique. Chaque échantillon prélevé est ensuite placé dans un sachet hermétique et annoté en fonction du type d'essai, de la tête et de la zone de prélèvement.

Feu (F) : 1 – 2 – 3

Tête (T) : 1 – 2a – 2b – 3 – 4

Zone (Z) : A – B – C

Pour exemple si l'échantillon est prélevé dans l'essai 2 sur la tête 2a et dans la zone postérieure il est annoté : F2 T2a ZC

Etape 5 : Passage à l'analyseur thermogravimétrique (ATG). La consigne est de faire pour chaque creuset des échantillons de 10 mg +/- 0.5 mg. Avant la mise en place dans le creuset, chaque échantillon est séché à l'étuve, puis broyé (la perte de matière est donc plus ou moins conséquente en fonction de l'échantillon), puis pesée et introduction dans le creuset.

4.2.5 POSTE DE MESURE

Le poste de mesure sera aménagé dans le local prévu à cet effet au rez-de-chaussée du bâtiment R+1. Le Boîtier Acquisition Energie (BAE) sera installé dans l'aire matériels qui permet l'acquisition du signal provenant des thermocouples.

La liaison entre le BAE et le PC est faite au moyen d'un câble RJ45 de longueur adaptée. Durant chaque essai, toutes les températures des thermocouples sont relevées et suivies. Les courbes relevées lors des essais sont les suivantes.

Les températures des essais 1, 2 et 3 de la Tête 1 situé à 0,5m du foyer sont présentées. Les autres courbes seront exposées en annexe.

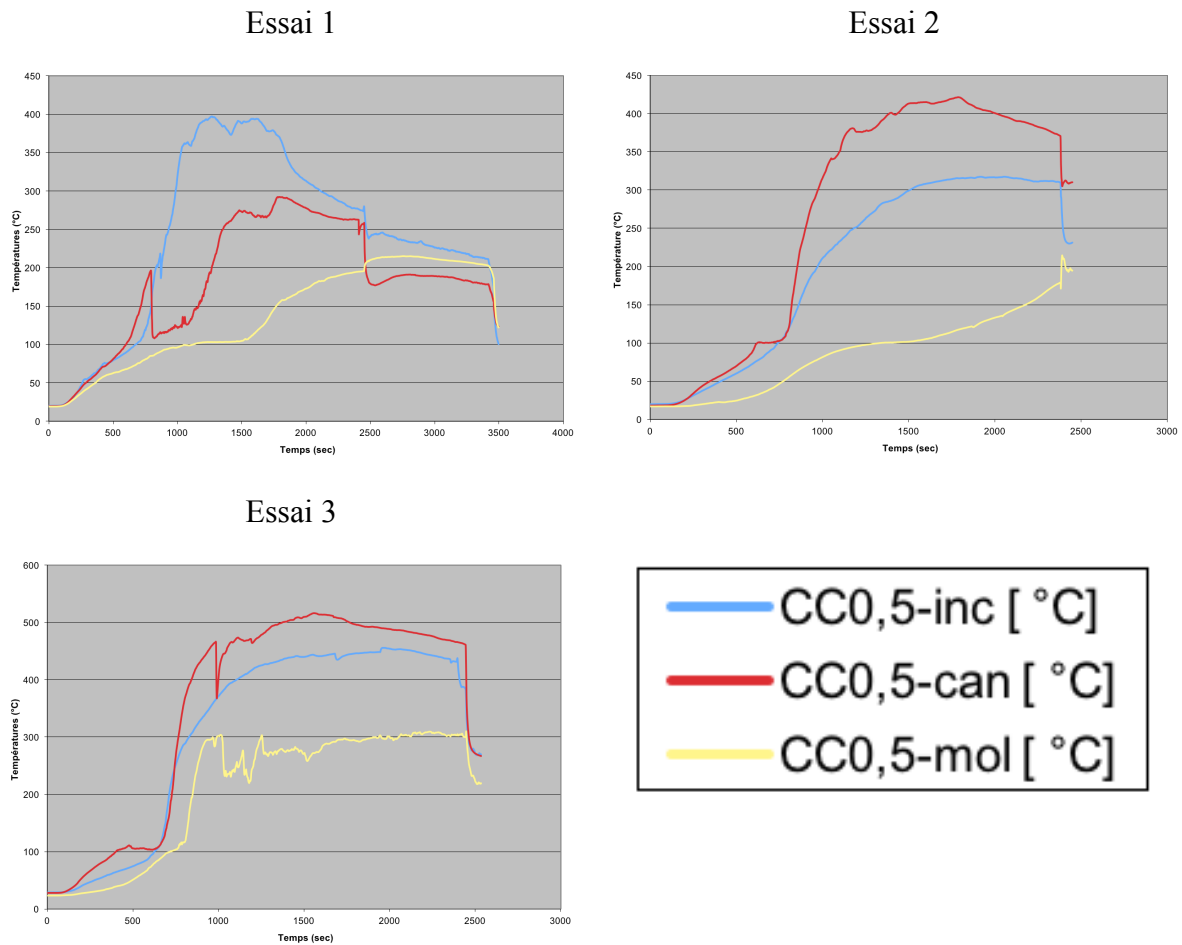


Figure 40 : Relevé des mesures de températures durant les essais 1, 2 et 3 en fonction des zones, et relevés des températures des têtes de porc au niveau du positionnement des thermocouples.

4.3 MATÉRIEL

Pour cette étude, une liste de matériel préalable à l'essai est faite. Celle qui regroupe le matériel biologique, qui regroupe les 15 têtes et 6 litres de sérum physiologique, mais aussi du matériel technique dont :

- forêts pointeurs implantologie 210L16 020 KOMET (mise en place des thermocouples) ;
- trépan de prélèvement osseux 227B 060 070 KOMET (prélèvements osseux) ;
- contre angle bague vert W&H ;
- moteurs d'implantologie à irrigation constante W&H ;
- syndesmotome faucille ;

- bistouri lame 15 ;
- sachets plastiques ;
- plateaux jetables (sondes, miroirs, précelles) ;
- gants, masques et lunettes de protection ;
- appareil photo Canon PowerShot SX200IS



Figure 41 : Zone d'installation pour la réalisation des prélèvements.

4.3.1 MÂCHOIRES DE PORC

Quinze têtes de porc provenant d'un même élevage sont tuées trois jours avant la carbonisation dans un même abattoir et conservées au frais à des températures de 3 ± 1 °C. Elles sont âgées de 8 à 10 mois, et leur poids est de [4 - 5] kg. Chaque tête est sélectionnée en fonction de leur structure pondérale de façon à ce que les essais soient le plus reproductibles possibles et de façon à minimiser les variables. L'os de porc présente un grand nombre de correspondance avec l'os humain (Barone, 1976). C'est donc l'os de référence dans cette étude, les prélèvements osseux humains pour des raisons d'éthique étant très difficiles à obtenir, leur conservation et leur manipulation pour cette étude aurait été très technique.

4.3.2 ASPECTS LÉGAUX DU PRÉLÈVEMENTS D'OS MAXILLAIRE

4.3.2.1 Problématique chez l'homme

Pour des raisons de respect du corps humain, la réalisation d'essai de carbonisation chez l'homme n'est pas autorisée. Le prélèvement osseux à but scientifique est considéré comme un prélèvement de tissus et non comme un prélèvement d'organe. Différentes lois interagissent afin de protéger l'être humain. Elles ont fait leur apparition après le procès de Nuremberg qui s'est déroulé du 20 novembre 1945 au 1^{er} octobre 1946 et qui a jugé 24 personnalités impliquées dans le troisième Reich et accusées de crime contre l'humanité. Ces lois sont régies en France par le code civil, le code pénal et le code de la santé publique.

Le **code pénal** (Mayaud et al. 2014) par l'article 225-17 du C.C, modifié par Loi n°2008-1350 du 19 décembre 2008 - art. 13 : Toute atteinte à l'intégrité du cadavre, par quelque moyen que ce soit, est punie. Et l'article 511-5-1, créé par Loi 2004-800 2004-08-06 art. 15 3° JORF 7 août 2004 : Le fait de procéder à des prélèvements à des fins scientifiques sur une personne décédée sans avoir transmis le protocole prévu à l'article L. 1232-3 du code de la santé publique est puni.

Le **code Civil** (Mayaud et al. 2014) par son article 16-1-1 du C.P : Le respect dû au corps humain ne cesse pas avec la mort. Les restes des personnes décédées, y compris les cendres de celles dont le corps a donné lieu à crémation, doivent être traités avec respect, dignité et décence.

Le **code de la santé publique** (Markus et al. 2014) par l'article L1241-6 du CSP, créé par Loi n°2004-800 du 6 août 2004 - art. 12 JORF 7 août 2004 : Le prélèvement de tissus et de cellules et la collecte de produits du corps humain sur une personne dont la mort a été dûment constatée ne peuvent être effectués qu'à des fins thérapeutiques ou scientifiques et dans les conditions prévues au chapitre II du titre III.

Sous-section 1 : Prélèvement à des fins thérapeutiques. Article R1241-1, modifié par Décret n°2007-1220 du 10 août 2007 - art. 2 JORF 14 août 2007 : Les prélèvements de tissus, de cellules et la collecte des produits du corps humain sur une personne décédée ne peuvent être effectuées que dans les conditions prévues à la section I du chapitre II du titre III du livre II de la présente partie.

Sous-section 2 : Prélèvement à des fins scientifiques. Article R1241-2-2, créé par Décret n°2007-1220 du 10 août 2007 - art. 2 JORF 14 août 2007 : Les dispositions de la section 3 du chapitre II du titre III du présent livre sont applicables aux prélèvements de tissus ou de cellules définis à l'article L. 1241-6.

4.3.2.2 Problématique chez l'animal

Les recherches animales sont aussi encadrées en France, en Europe et sur le plan international. Seule la réglementation française est étudiée dans cette thèse. Cette réglementation est sous la directive du ministère de l'agriculture. Elle se base sur le code rural avec les articles R214-87 à R214-137 qui modifié par le décret 2013-118 et cinq arrêtés datés du 1er février 2013 et publiés le 7 février 2013, en application de la directive 2010/63/UE.

Elle vise à protéger :

- **Les espèces animales** concernées dont les vertébrés (formes larvaires ou fœtales évoluées) et les céphalopodes. Elle ne s'applique pas aux insectes. L'utilisation de primates ou de grands singes est très restreinte voir interdite.
- **L'origine des animaux**, les élevages ou fournisseurs doivent être agréés par l'état.
- **La licéité**, c'est-à-dire le fait que l'expérience est nécessaire et irremplaçable et qu'elle relève de la recherche en santé humaine ou animale, de la protection de l'environnement ou de l'enseignement supérieur ou professionnel ou d'enquêtes médico-légales.
- **La douleur** avec la réalisation d'anesthésie si nécessaire, en évitant la mort.

4.4 MÉTHODES

4.4.1 L'ANALYSEUR THERMOGRAVIMÉTRIQUE (ATG)

4.4.1.1 Définition et principe de mesure

La thermogravimétrie est une technique qui permet de mesurer la variation de masse d'un échantillon lorsqu'il est soumis à un programme de température dans une atmosphère définie. L'Analyseur ThermoGravimétrique (ATG) est l'outil qui permet de mesurer la variation de masse (Wirth, Guitteny et Mathonat, 2014).

Cette variation de masse peut être induite par un processus comme la sublimation, l'évaporation, l'absorption, l'adsorption, ou l'oxydoréduction (Vyazovkin, 2012). Les transformations comme la fusion ou la transition vitreuse n'induisent aucune modification de masse et ne sont donc pas visibles à l'ATG.

L'ATG est une méthode de choix dans l'étude des comportements des matériaux à l'échelle microscopique. Le plus souvent l'échantillon est soumis à un programme de température, le chauffage est réalisé à vitesse constante.

Le changement de masse est mesuré à l'aide d'une micro ou ultra-microbalance (balance de très haute sensibilité de l'ordre du μg). Cette mesure de variation de masse est effectuée dans une atmosphère préalablement définie (inerte ou oxydante). (Slaoui et Bounahmidi, 2004).

Le modèle utilisé dans ces expériences est le TGA / DSC 1. La microbalance permet une pesée indépendante de la position de l'échantillon. Les températures analysées peuvent aller jusqu'à $1100\text{ }^\circ\text{C}$ et le capteur DSC permet de mesurer simultanément les événements thermiques, tels que la fusion et la cristallisation, et fournit des températures de transition justes et précises. (Mettler Toledo, 2016).

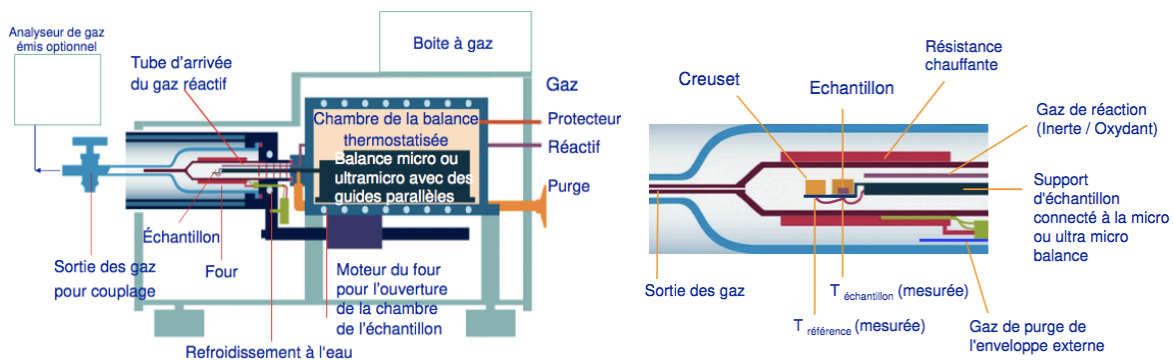


Figure 42 : Schéma d'un ATG et principe de mesure (Mettler Toledo, 2016)

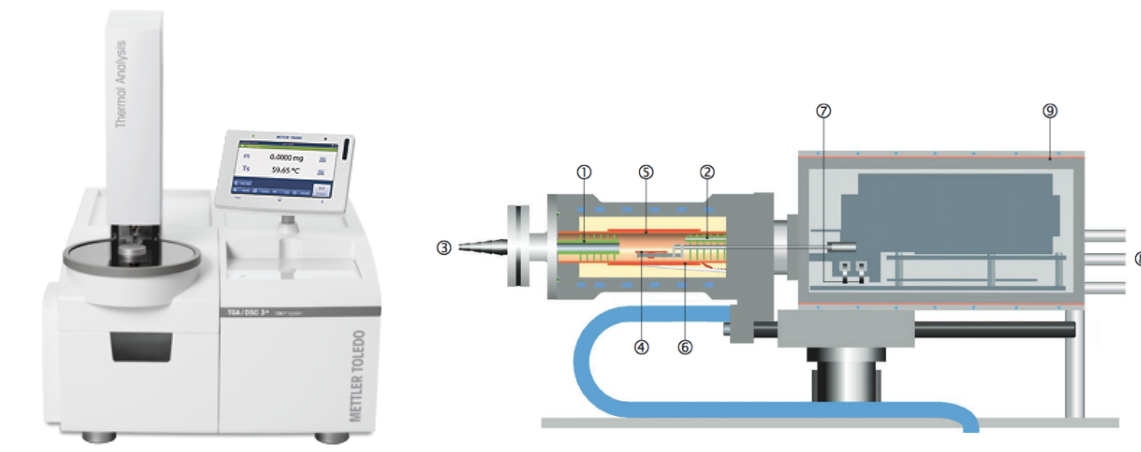


Figure 43 : Photo de l'ATG et coupe du four (Mettler Toledo, 2016)

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 : Réflecteurs | 6 : Capteur de température four |
| 2 : Capillaire pour gaz réactif | 7 : Poids d'ajustage annulaire |
| 3 : Sortie de gaz | 8 : Raccord pour gaz de protection de de balayage |
| 4 : Capteurs de température | 9 : Boîtier thermostaté de la balance |
| 5 : Résistance chauffante | |

Le comportement de la dégradation thermique étant caractéristique du matériau, quatre facteurs doivent être évalués avant toute expérience :

Facteurs :	Paramètres de l'étude :
Type d'échantillon	Sain ou brûlé des zones de prélèvements : A, B ou C
Masse initiale d l'échantillon	Aux alentours de 10 +/- 0,5 mg pour cette étude
Le temps et durée de l'essai	1 h 42 minutes soit 6120 secondes
L'environnement de l'essai	Gaz inerte le diazote et l'air

Tableau 20 : Paramètres de l'étude à l'ATG

S'ajoutent deux facteurs à paramétrer :

- la vitesse de chauffe à laquelle sera soumis l'échantillon pendant son analyse ;
- l'intervalle de température à étudier.

L'ensemble de ces paramètres auront un effet sur les résultats obtenus.

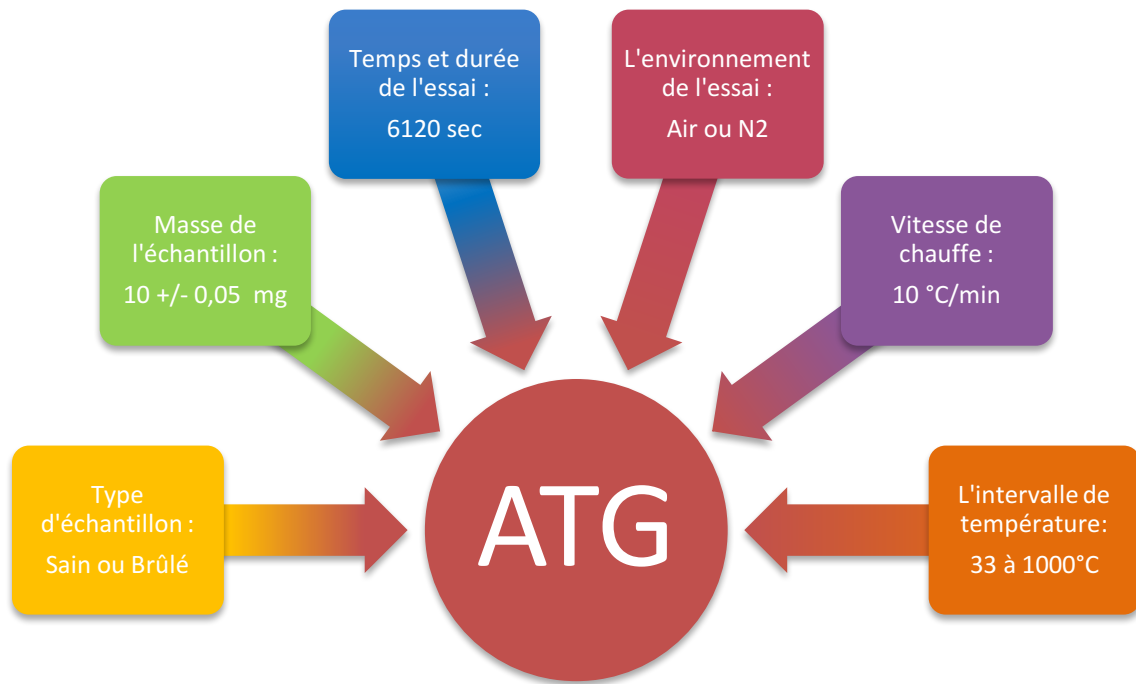


Figure 44 : Paramètres de l'ATG pour l'étude.

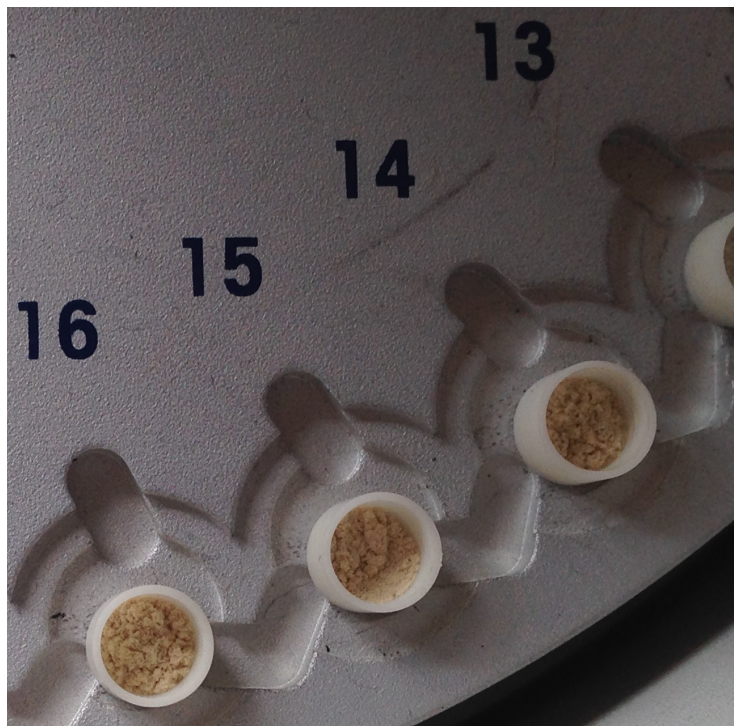


Figure 45 : Echantillons de 10 mg +/- 0,5 mg d'os installés dans les creusets avant le passage à l'ATG.

4.5 RÉSULTATS

4.5.1 OBSERVABLES MACROSCOPIQUEMENT

4.5.1.1 Têtes 1, essais 1, 2 et 3

Tissus	Essais	Caractéristiques macroscopiques
Mous	1 ; 2 ; 3	Disparition de l'ensemble des tissus mous externes de la face : groin, de la cornée, des oreilles et des revêtements gingivaux.
Durs	1 ; 2 ; 3	Les dents sont recouvertes d'un enduit noirâtre et la langue s'est rétractée et elle est asséchée et carbonisée dans sa partie antérieure. L'os est mis à nu, il est très friable et totalement calciné et présente une couleur blanche, témoin de l'importante température reçue sur la partie antérieure de la face. Il présente des fractures et des motifs de rupture. Les prélèvements osseux dans la partie antérieure sont difficiles à réaliser, l'os s'effrite, le prélèvement est facilement obtenu dans la partie postérieure.

Tableau 21 : Caractéristiques des essais 1, 2 et 3 sur Tête 1

Une différence notable est observable entre les essais 1, 2 et 3 du fait d'une température plus élevée lors de l'essai 3, celui-ci étant réalisé juste après l'essai 2, le même jour, le caisson n'a pas eu le temps de refroidir totalement.

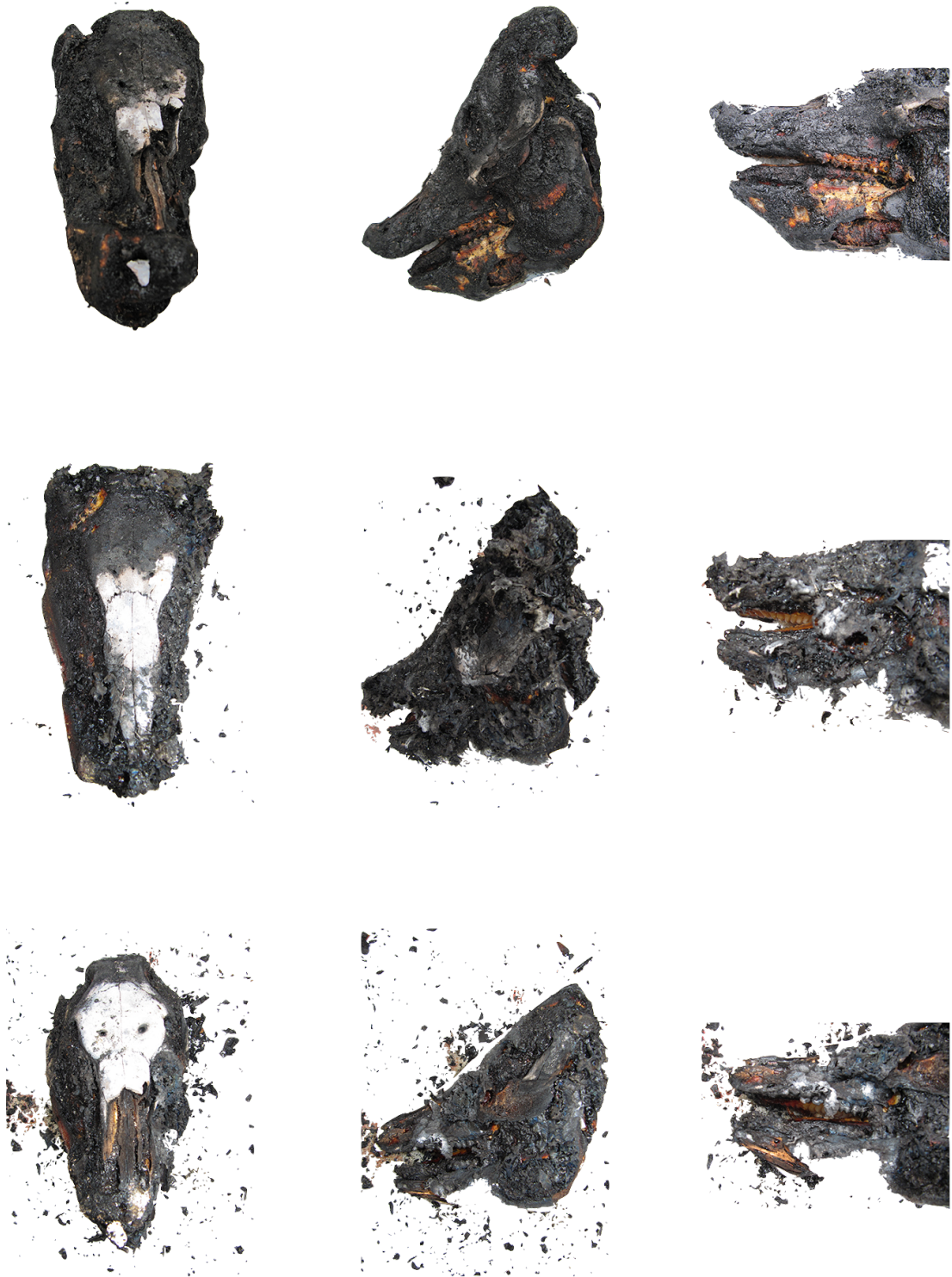


Figure 46 : Têtes 1 de face, de profil, et zoom lors des 1, 2 et 3

4.5.1.2 Têtes 2a et 2b, essais 1, 2 et 3

Tissus	Essais	Caractéristiques macroscopiques
	Têtes	
Figure 47	E 1 T 2a	La tête est recouverte d'un enduit noir charbonneux. Les tissus musculaires, adipeux mis à nu, sont calcinés et rétractés et ont partiellement disparu à la mandibule. La langue est carbonisée sur sa partie externe. Les yeux sont rétractés.
	E 2 et 3 T 2a	Disparition totale des tissus externes de la face. Le groin est présent mais carbonisé, comme la langue sur sa partie externe. Les tissus mous de la commissure labiale sont carbonisés, rétractés et durcis.
Figure 48	E 1 T 2b	La tête est recouverte d'un enduit noir, charbonneux sur son flanc gauche la tête est carbonisée, à droite elle présente un tissu coloré « cuit », caractéristique de l'orientation couche feu. Au niveau de la zone mandibulaire, les tissus externes de la face ont complètement disparu.
	E 2 T 2b	Sous la zone mandibulaire, les tissus mous ont presque disparu. Lors du prélèvement de gencive, un suintement apparaît.
	E 3 T 2b	Les tissus mous externes ont totalement disparu
Figure 47	E 1 T 2a	L'os est déshydraté, de coloration jaunâtre. Mise à nu du tissu osseux mais non uniforme sur l'ensemble de la face.
	E ;2 & 3 T 2a	L'os est carbonisé mais celui-ci est aussi calciné sur la partie supéro-antérieur de la face. Il est extrêmement friable et cède sous une faible pression. Cette tête étant orientée face au feu, peu de différences entre les secteurs dentaires 1 et 4 et le secteur 2 et 3 sont notables.
Figure 48	E 1 T 2b	Les dents sont noircies. L'os est déshydraté à certain endroit, notamment lorsque celui-ci apparaît de couleur jaune.
	E 2 T 2b	L'os est carbonisé et présente une structure noircie.
	E 3 T 2b	L'os présente une couleur blanche, il est calciné. Celui-ci est très friable et est présent sous forme bulleuse.

Tableau 22 : Caractéristiques des essais 1, 2 et 3 sur les Têtes 2a et 2b



Figure 47 : Têtes 2a de face, de profil et zoom lors des essais 1, 2 et 3



Figure 48 : Têtes 2b de face, de profil et zoom sur la mâchoire des essais 1, 2 et 3

4.5.1.3 Têtes 3 et 4, essais 1 ; 2 et 3

À l'issu du premier essai, la position des têtes 3 et 4 n'était pas optimale car elles ont reçu très peu de chaleur, les tissus ont été très peu touchés et l'os est intact ou légèrement déshydraté, la position n'étant pas intéressante pour l'étude, il a été décidé de replacer ces têtes pour les essais 2 et 3 afin qu'elles reçoivent un rayonnement et une convection.

Tissus	Essais Têtes	Caractéristiques
Figure 49 Mous	E 2 et 3 T3	La tête est recouverte par un enduit noir et charbonneux. Elle est carbonisée uniformément. Les tissus mous externes sont très friables et noircis. Les revêtements gingivaux et palatins sont encore en place. Les éléments de la cornée ont disparu.
	E 2 et 3 T4	La tête est recouverte d'un enduit noir, charbonneux. Les têtes étant placées en hauteur et dans la ligne de sortie des fumées, elles ont reçu l'ensemble des fumées toxiques. Les tissus mous externe de la face sont présents dans leur intégralité mais desséchés et durcis. A distance de l'angle sous mandibulaire, les tissus musculaires sont mis à nu. Au niveau de la cornée, les tissus sont rétractés et l'œil est fermé. La langue est noircie dans sa totalité.
Figure 49 Durs	E 2 et 3 T3	Les dents sont recouvertes d'un enduit noirâtre mais encore très bien soutenues à l'intérieur de l'os alvéolaire. Au niveau de la mandibule, l'os est déshydraté mais facilement prélevable. Une zone blanche de calcination est observable au niveau de l'angle mandibulaire.
	E 2 et 3 T4	A l'examen clinique les dents sont recouvertes d'un enduit noirâtre. Lors du prélèvement, l'os est jaune caractéristique de la déshydratation.

Tableau 23 : Caractéristiques des essais 1, 2 et 3 sur les Têtes 3 et 4



Figure 49 : Têtes 3 de face, de profil et zoom lors des essais 1, 2 et 3



Figure 50 : Têtes 4 de face, de profil et zoom lors des essais 1, 2 et 3

4.5.2 ANALYSE DES COURBES APRÈS PASSAGE À L'ATG

4.5.2.1 Sélection des échantillons

Lors du passage à l'ATG, chaque prélèvement de la zone A, B ou C est partagé en 3 échantillons de 10 mg +/- 0,5 mg et annoté A1, A2 ou A3. Ainsi, pour chaque tête 18 échantillons sont soumis à l'ATG sous deux atmosphères distinctes, 9 sont sous air et 9 sous diazote (N₂). Au total 270 valeurs ont été passées à l'ATG. Avoir trois passages à l'ATG pour un même échantillon permet d'être reproductible et de vérifier la fiabilité de nos résultats. Une analyse de référence est effectuée sur une zone non soumise aux rayonnements thermiques, caractérisée comme l'échantillon sain.

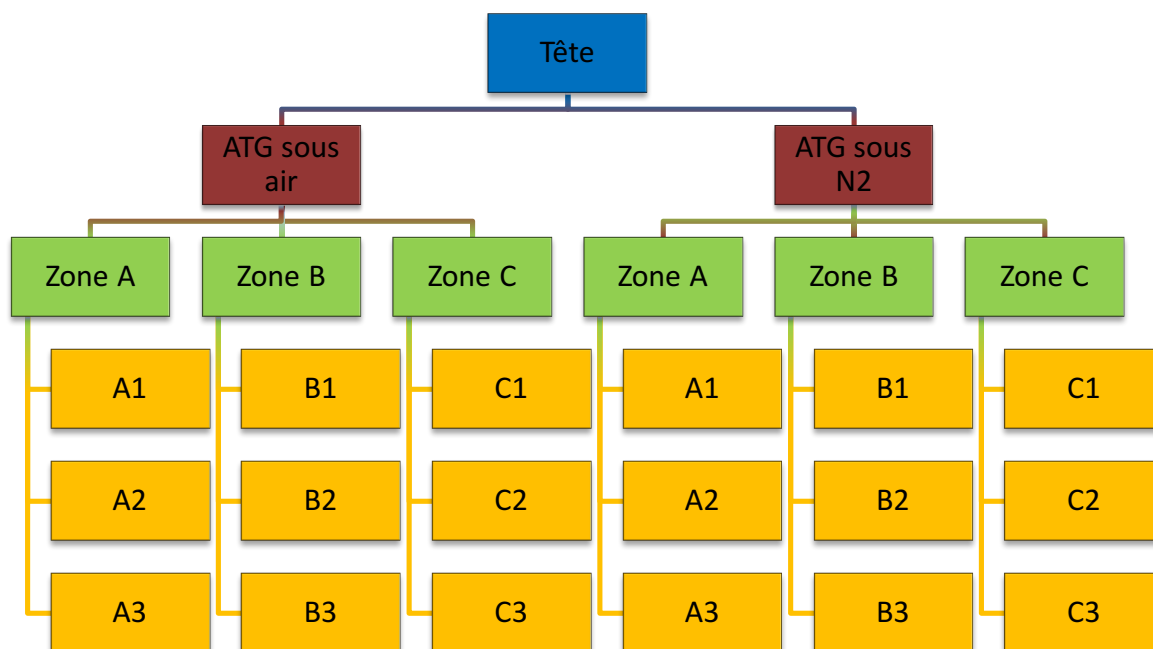


Figure 51 : Descriptif du nombre d'essai par tête.

4.5.2.2 Répétabilité et critères de selections des données

Les têtes proviennent du même élevage, elles ont la même valeur staturo-pondérale, elles ont été tuées le même jour, elles sont soumises aux mêmes rayonnements thermiques lors des essais, les conditions de prélèvements sont similaires pour chacune d'entre elles et sont effectuées par un sujet unique. Le paramétrage de l'ATG est le même pour chacun des échantillons. L'ensemble de ces paramètres justifie la répétabilité de l'étude.

Durant l'ATG, les échantillons sont soumis à deux atmosphères distinctes, l'air et le diazote. Lors d'un incendie, ces deux atmosphères sont généralement retrouvées sur une même scène, mais à des endroits dissemblables. L'atmosphère riche en diazote est caractéristique du cœur de la flamme et des zones « hautes », alors que les zones alentours sont riches en oxygène de l'air. Les corps humains soumis aux rayonnements thermiques et retrouvés sur les scènes d'incendie sont le plus souvent à distance du foyer des flammes et allongé sur le sol, et sont donc soumis à une atmosphère riche en « air ». Les essais sous N2 ne seront donc pas analysés dans la suite de l'étude.

Lors du passage à l'ATG, les durées sont quantifiées, et un fichier Excel est réalisé simultanément ; la perte de masse en fonction de la température est transcrite. Ainsi pour chaque échantillon deux tableaux sont livrés, un correspondant à la perte de masse au cours du temps fonction de la température, et l'autre la dérivée de cette perte de masse.

Curve	Name:					
	!Dents	30-1000	N2	F3	T2a	A1
	Sample	Weight				
Curve	Values:					
	Index	Ts	Value			
		[°C]	[%]			
	0	33,5593	100			
	1	33,5535	99,9997			
	2	33,5448	99,9991			
	3	33,5487	99,9986			
	4	33,5346	99,998			
	5	33,5085	99,9977			
	6	33,5016	99,9976			

Figure 52 : Perte de masse en fonction de la température au cours du temps Feu 3 sous N2, Tête 2a Zone antérieure (A).

Curve	Name:					
	!Dents	30-1000	N2	F3	T2a	A1
Curve	Values:					
	Index	Ts	x	value	y	value
		[°C]	[s]	[1/s]		
	0	33,5593	0	-7,65E-06		
	1	33,5535	1	-7,65E-06		
	2	33,5448	2	-7,65E-06		
	3	33,5487	3	-7,65E-06		
	4	33,5346	4	-7,65E-06		
	5	33,5085	5	-7,65E-06		
	6	33,5016	6	-7,65E-06		
	7	33,4906	7	-7,65E-06		

Figure 53 : Dérivée de la perte de masse Feu 3 sous N2, Tête 2a Zone antérieure (A).

4.5.2.3 Variations de masse au cours des essais

Pour chaque analyse sous air, un relevé des poids initiaux en mg et des poids finaux en % est effectué. Les données sont affichées dans le tableau ci-dessous.

- Os sains

	Masse finale %	Poids initial mg
Sain Zone A1	58	10,12
Sain Zone A2	57,2	10,07
Sain Zone A3	57,4	10,3
Moyenne sain Zone A	57,6	10,2
Sain Zone B1	57,7	9,69
Sain Zone B2	57,8	8,97
Sain Zone B3	57,8	9,59
Moyenne sain Zone B	57,7	9,42
Sain Zone C1	60	10,11
Sain Zone C2	59,9	9,71
Sain Zone C3	59,8	9,76
Moyenne Sain Zone C	59,9	9,86

Tableau 24 : Poids initial et % de masse finale ATG sous air, échantillons sains

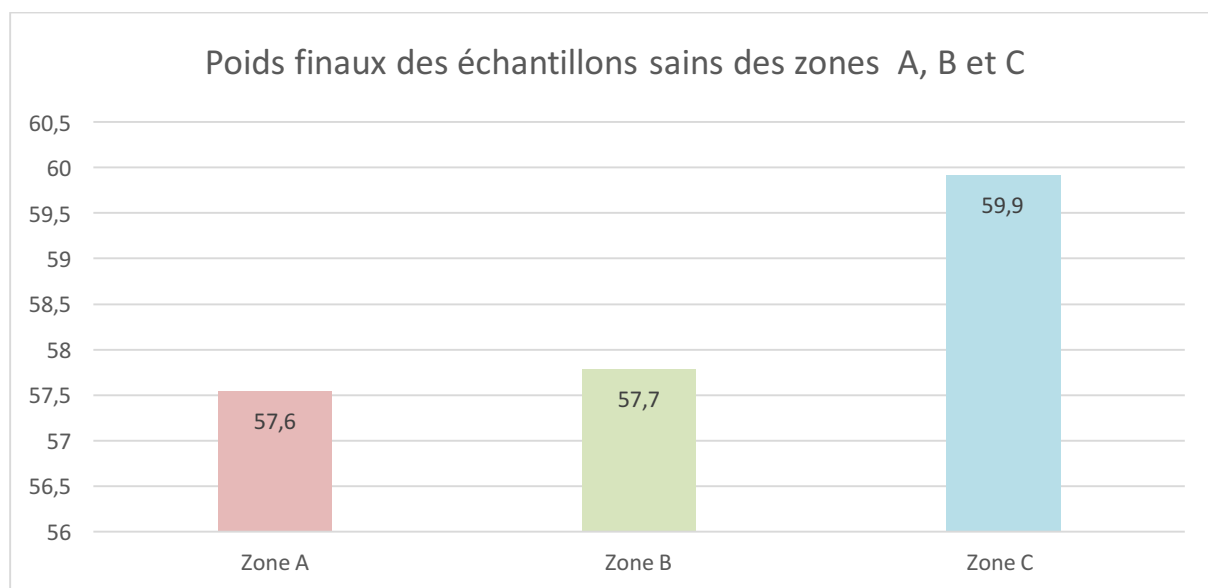


Figure 54 : Diagramme du % moyen de masse finale de chaque zone saine, ATG sous air

Pour l'os sain, lors du passage à l'ATG, la perte de masse de la zone A > B > C, il y a donc plus de matière à détruire dans la zone A > B > C. Si cette variation est observée chez l'os sain, cela laisserait supposer que l'os de la zone incisivo-canine n'a pas la même constitution que l'os de la zone prémolo-molaire ; il est intéressant de se poser la question de la qualité du prélèvement à savoir si l'os alvéolaire a été prélevé selon le protocole défini dans la zone molaire.

- Os brûlés

Le même travail est réalisé sur l'os brûlé (annexe 1 : ensemble des relevés de chaque zone). Pour avoir des résultats cohérents, il est important de retirer les valeurs aberrantes. Arbitrairement, celles-ci ont été définies comme aberrantes lorsque l'écart type du poids initial d'une zone était strictement supérieur à 1. Ces écart-types supérieurs à 1 sont le plus souvent causés par un manque de matière. Après avoir retiré ces valeurs est obtenu le tableau ci-dessous qui présente la masse initiale moyenne de l'échantillon et la moyenne du poids final par zone et par tête.

	Feu 1		Feu 2		Feu 3	
Moyenne	% Masse finale	Poids initial mg	% Masse finale	Poids initial mg	% Masse finale	Poids initial mg
T1 Zone A	58,2	8,14	71	7,01	58,5	9,83
T1 Zone B	61	9,01	61,2	9,28	59,9	9,7
T1 Zone C	62,2	10,34	65,3	9,82	69,1	9,5
T2a Zone A	-	-	57	9,5	53,7	9,54
T2a Zone B	63,9	10,05	61,2	9,68	59	9,4
T2a Zone C	65,4	9,86	66	10,15	54,1	9,61
T2b Zone A	62,4	9,64	62	10,30	60,4	9,61
T2b Zone B	63,1	8	65	10	60,1	9,74
T2b Zone C	58,7	9,87	65,3	10,37	61,6	9,91
T3 Zone A	61,9	9,35	64,8	9,64	61,2	9,68
T3 Zone B	61,8	9,7	62,8	10,5	61,3	9,78
T3 Zone C	65,4	9,67	64,5	9,66	65,1	9,6
T4 Zone A	65	9,53	64,9	8,77	63,2	9,66
T4 Zone B	59,1	9,87	62,6	8	60,6	10,04
T4 Zone C	64,9	9,9	64,5	10	64,3	9,81

Tableau 25 : Poids initial et % de masse finale ATG sous air, échantillons brûlés

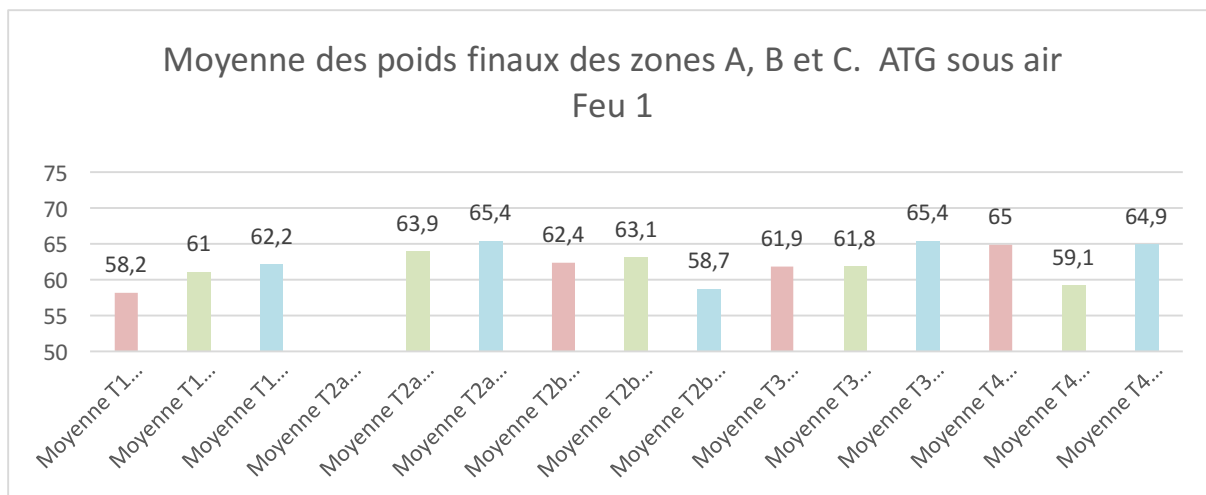


Figure 55 : Diagramme du % de masse finale de chaque zone, ATG sous air, échantillons brûlés feu 1

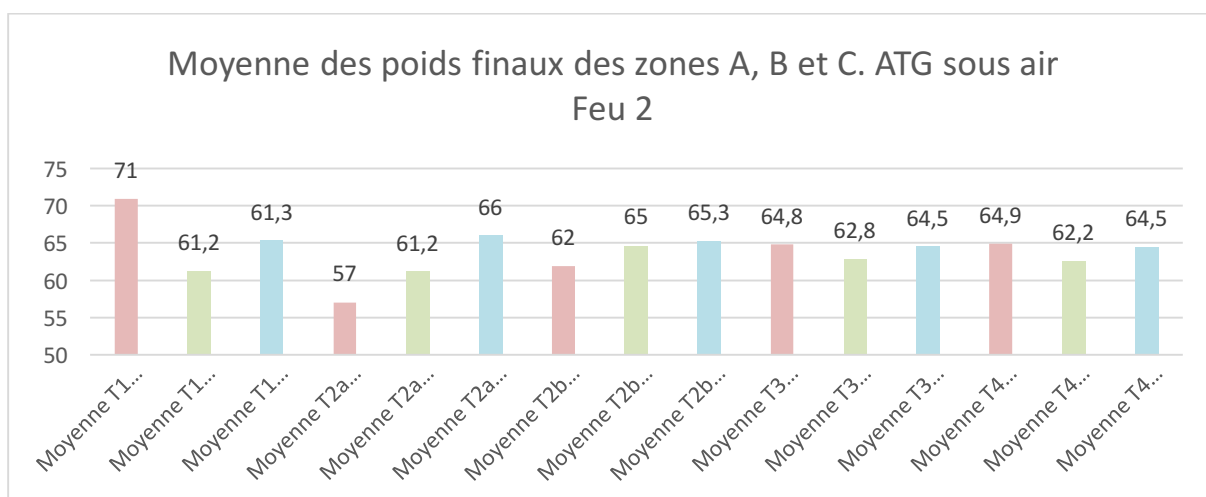


Figure 56 : Diagramme du % de masse finale de chaque zone, ATG sous air, échantillons brûlés feu 2

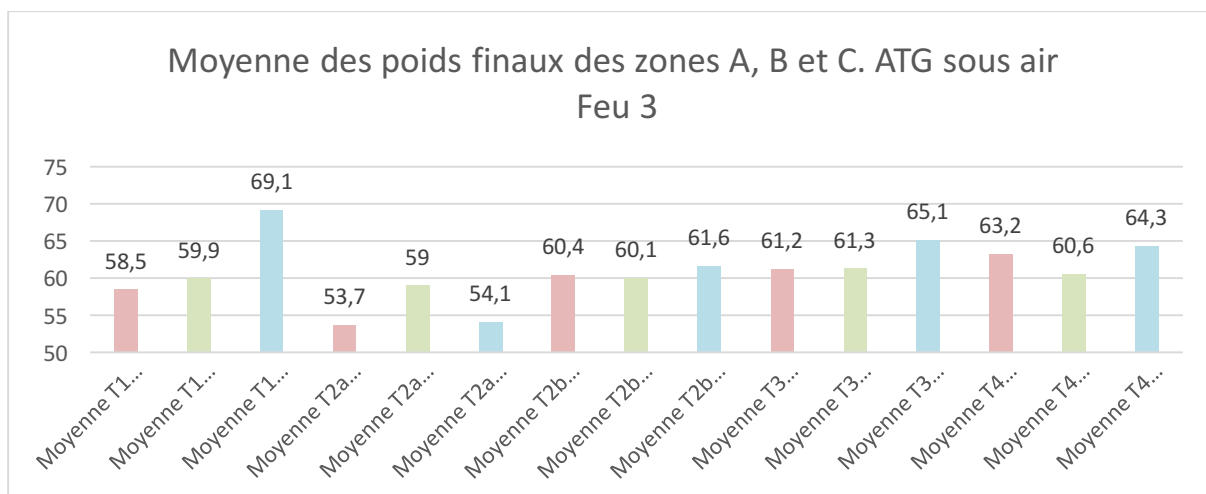


Figure 57 : Diagramme du % de masse finale de chaque zone, ATG sous air, échantillons brûlés feu 3

Les diagrammes ci-précédents, montrent que la zone A et B sont les zones qui subissent le plus de dégradations au cours du passage à l'ATG en effet, les poids finaux des zones A et B sont plus faibles comparés à la zone C. Si ces zones sont celles qui perdent le plus de matière, cela signifie qu'elles ont plus de matière à détruire et que lors des essais sous rayonnements thermiques ce sont-elles qui ont subi le moins de dégradations. Cependant lors de l'analyse macroscopique des têtes, le contraire a été observé car qu'il s'agit de la zone qui est la moins protégée par les tissus de soutien.

La zone C est la zone la plus protégée lors de ces essais, il s'agit de la zone molaire, zone où les tissus de soutien sont les plus importants mais c'est aussi la zone qui a la masse finale la plus élevée, cela implique que lors du passage à ATG, moins d'éléments sont à détruire car la plupart sont détruits lors des essais aux rayonnements thermiques alors que les tissus de soutien sont nombreux et épais.

Cette analyse est en opposition avec des études effectuées chez l'homme et l'analyse macroscopique des têtes de cochons. Chez l'homme, il a été démontré que le complexe dento-alvéolaire et osseux sont défendus par la couche musculo-cutanée puis sous l'action de la chaleur, les éléments dentaires antérieurs et le bord antérieur de la mandibule sont mis à nu et découverts dû à la rétraction centrifuge des lèvres supérieures et inférieures (Perrier, 1998). Il est alors important de s'interroger sur la qualité de nos prélèvements et sur la rigueur protocole expérimental.

Ci-dessous sont présentés les graphiques des courbes de la perte de masse normalisée et de la dérivée normalisée de cette perte de masse. Ces graphiques sont complémentaires et permettent de mieux comprendre l'interprétation des diagrammes qui a été faite ci-dessus. Pour chaque graphique la notation des courbes est la suivante :

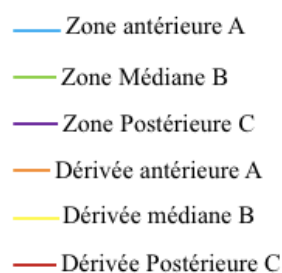


Figure 58 : Courbes représentées sur les graphiques

- Os sain

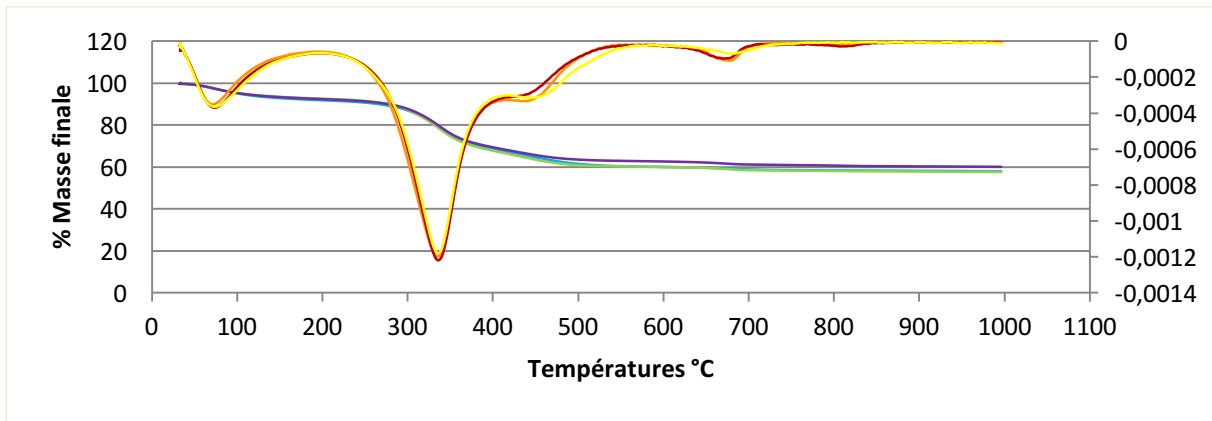
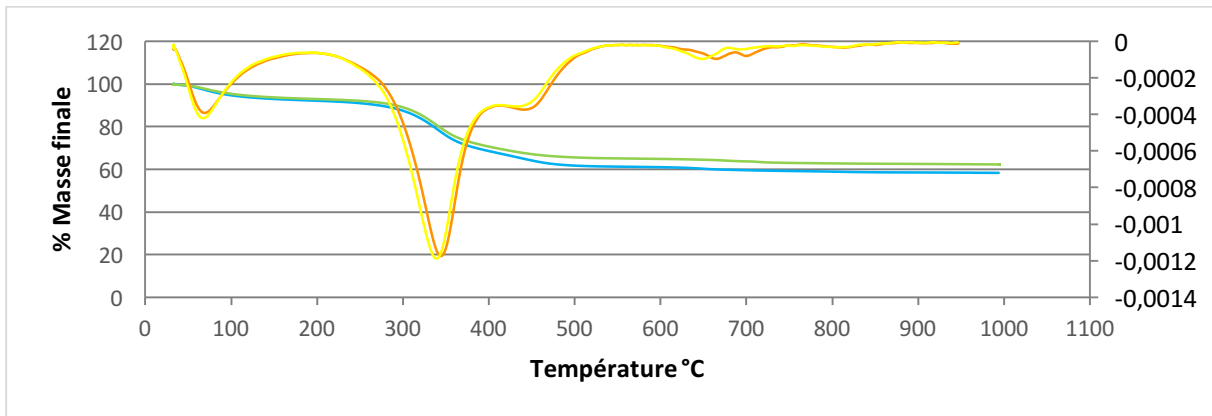


Figure 59 : Os sain perte de masse en % et dérivée en s-1.

Les courbes sur l'os sain sont superposables jusqu'à 400 °C, puis présentent des variations de +/- 2 mg qui correspondent à une perte de masse finale différentes. Les dérivées de cette perte de masse non superposables indiquent que les vitesses de perte de masse à partir de 400 °C ne sont pas les mêmes et sont probablement dues à une composition osseuse différente entre les prélèvements.

- Os brûlé



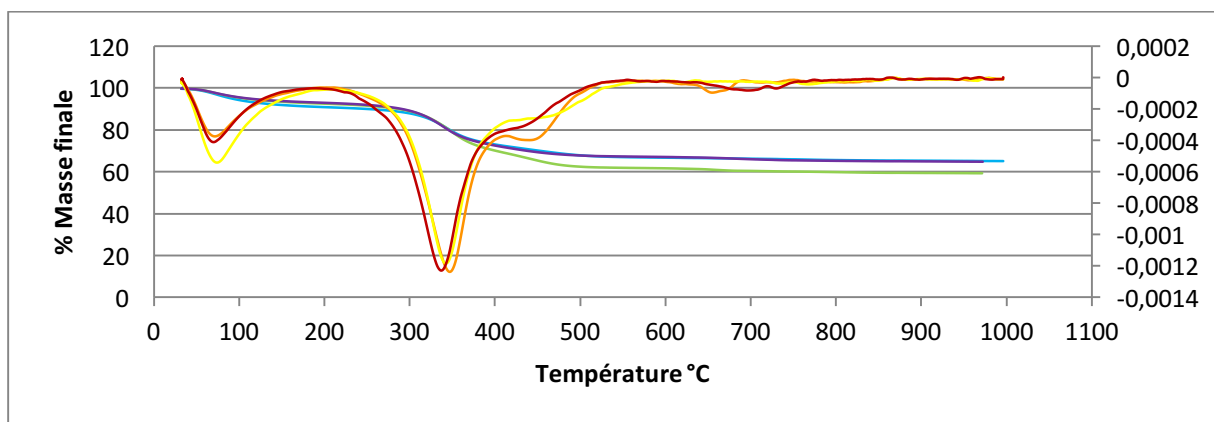
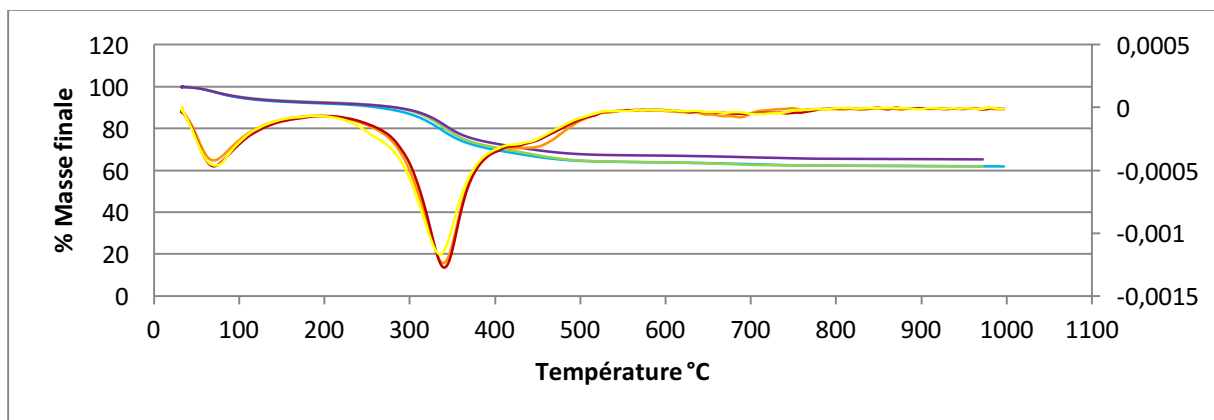
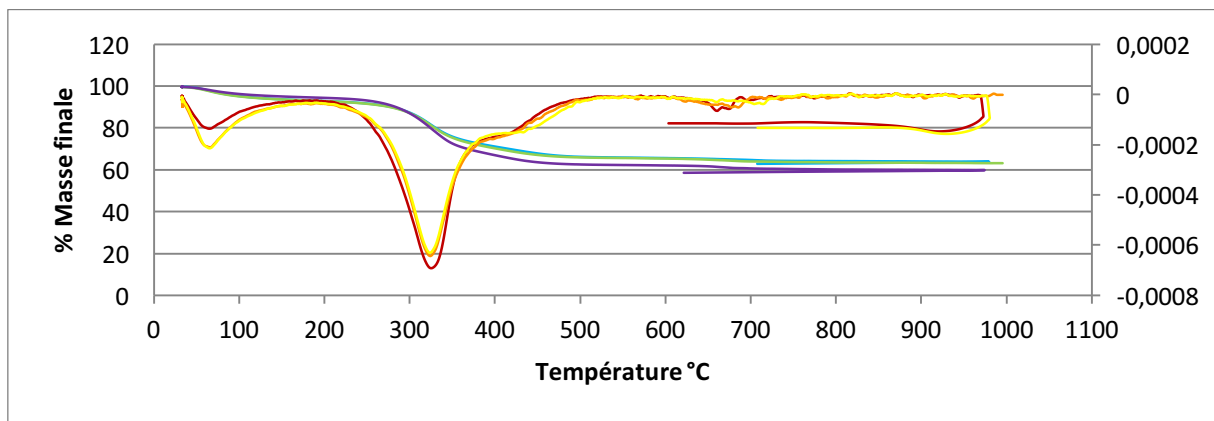
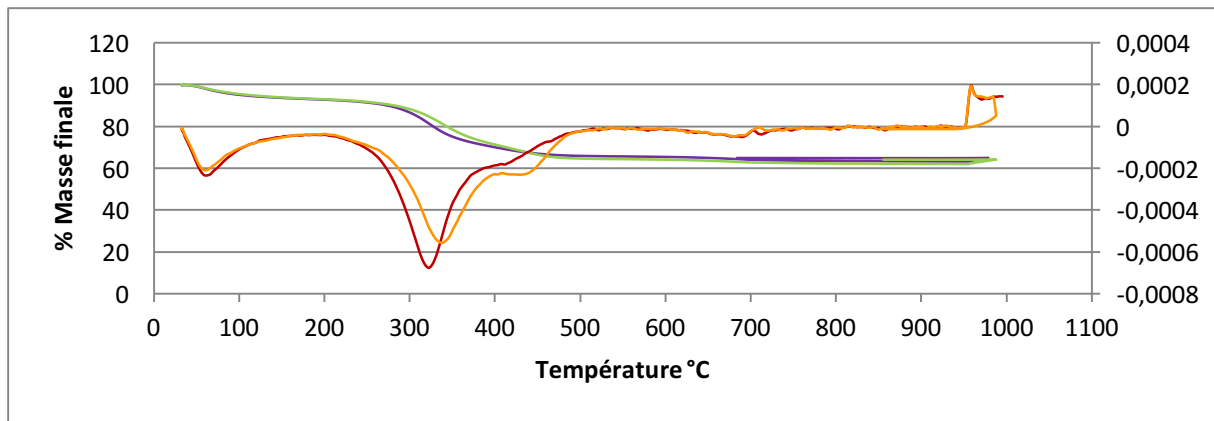
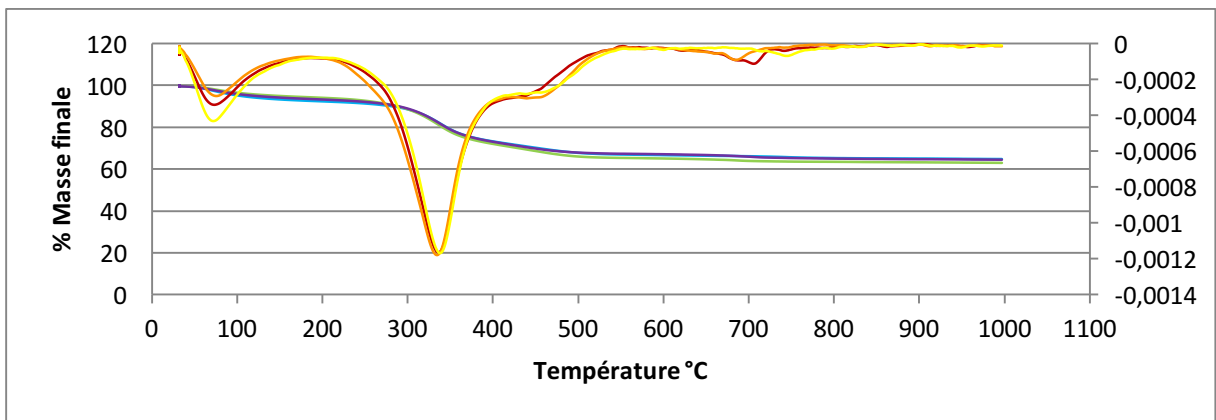
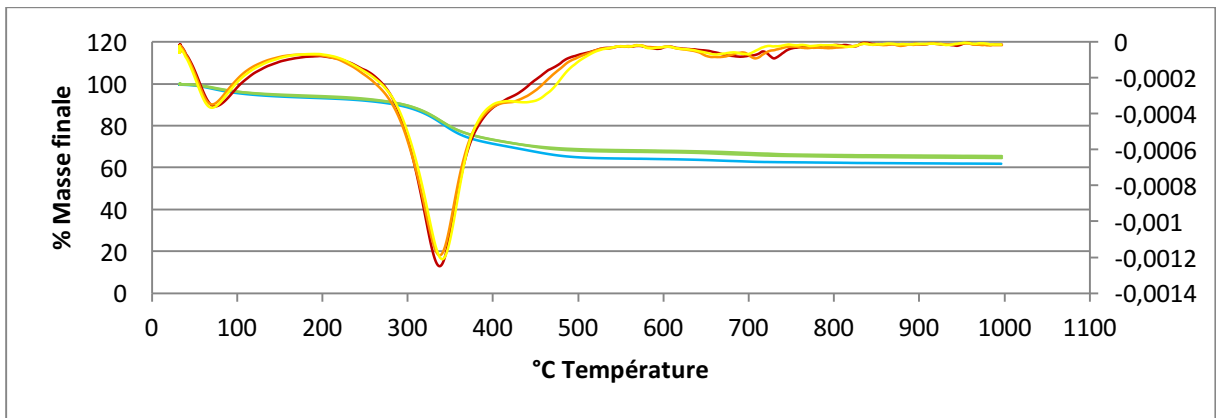
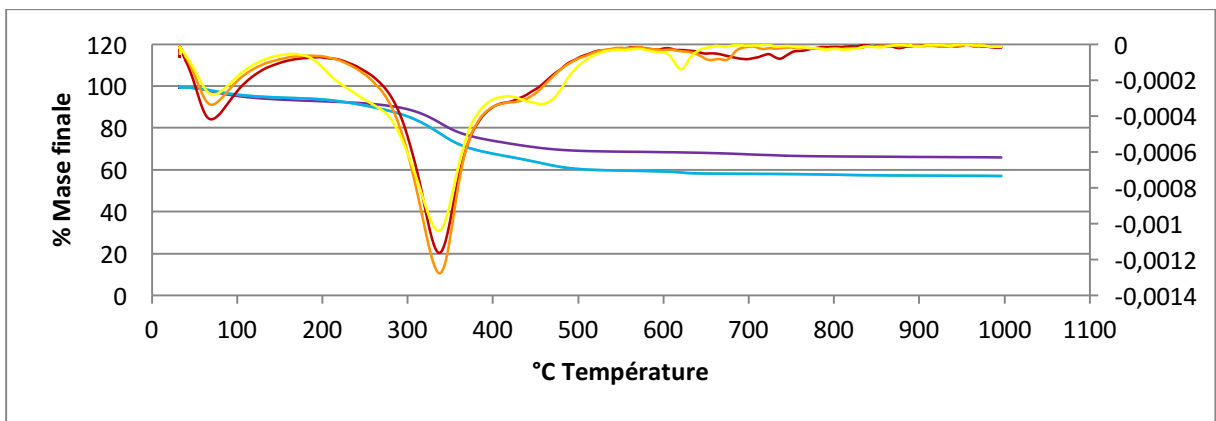
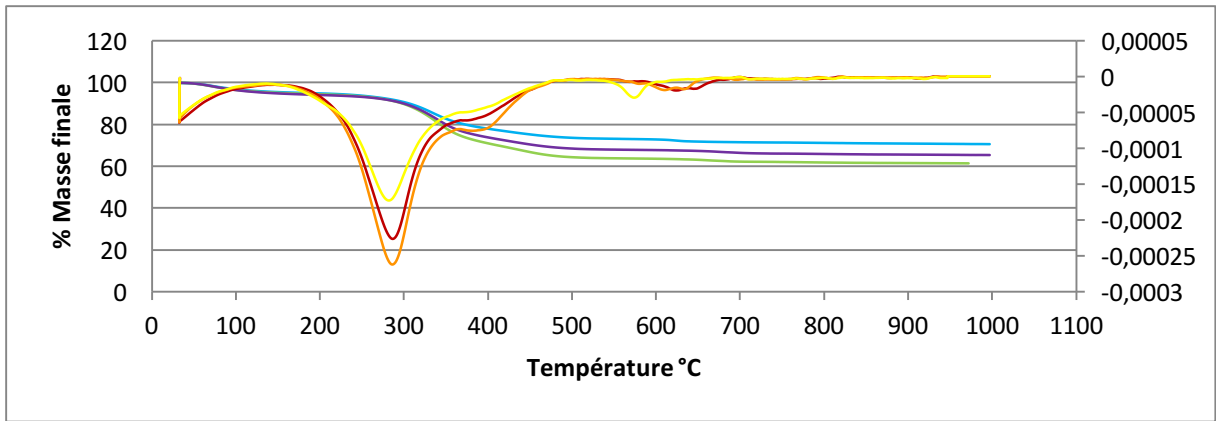


Figure 60 : Feu 1 têtes 1, 2a, 2b, 3 et 4 et zones A, B et C



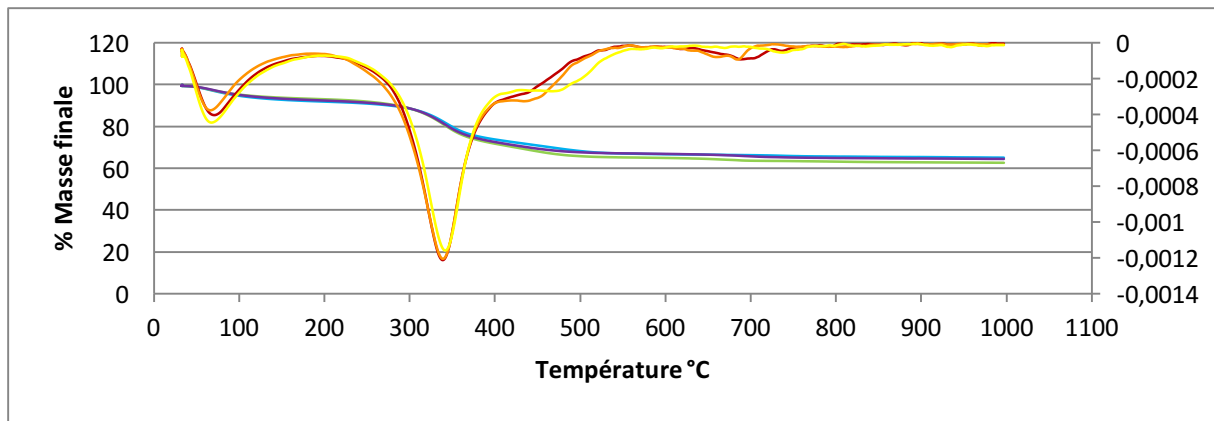
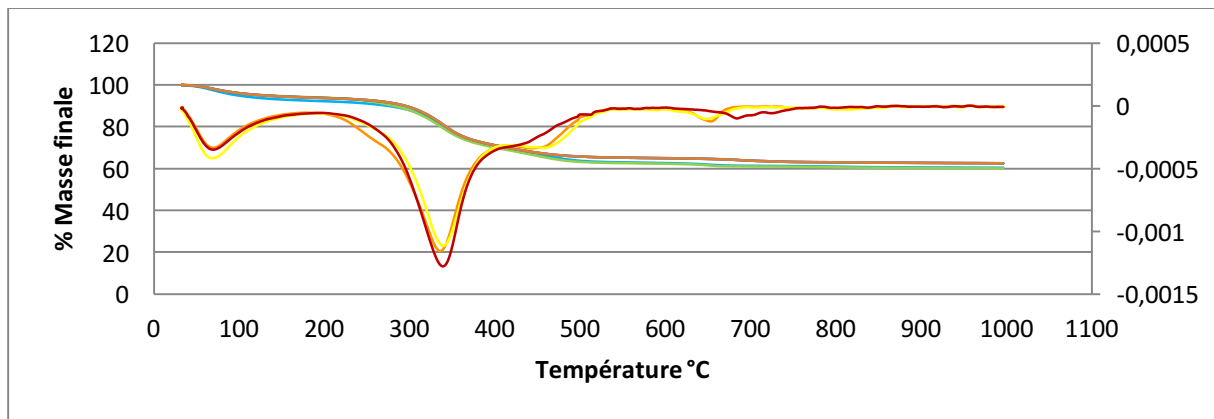
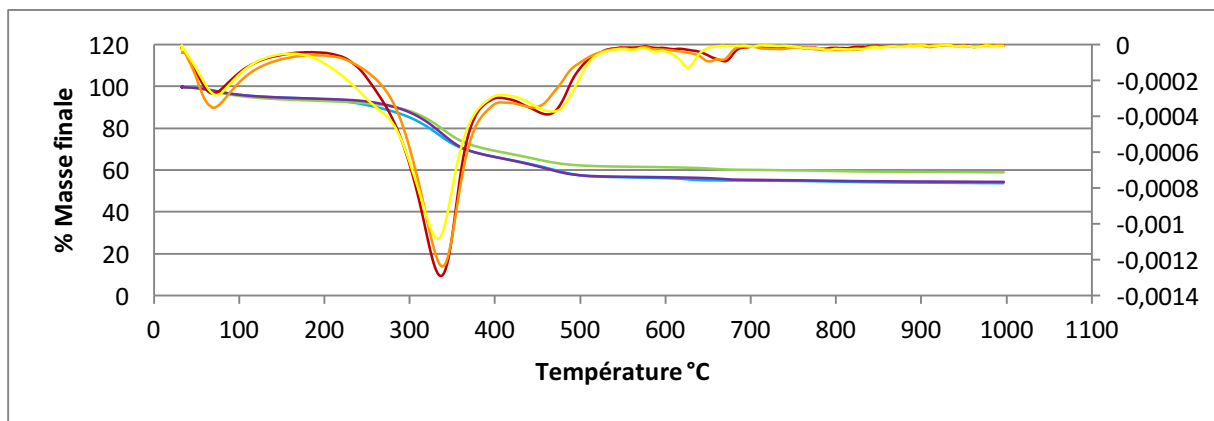
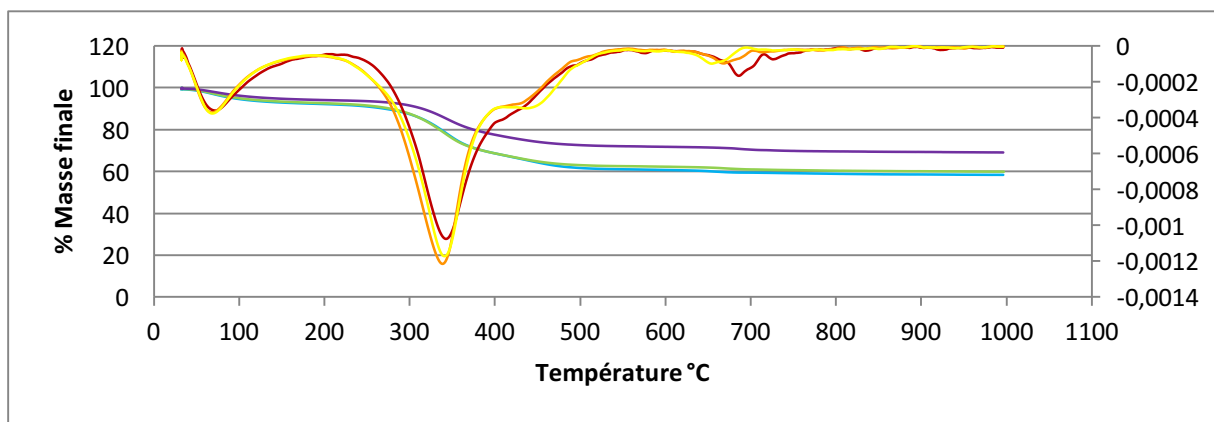


Figure 61 : Feu 2, têtes 1, 2a, 2b, 3 et 4 et zones A, B et C



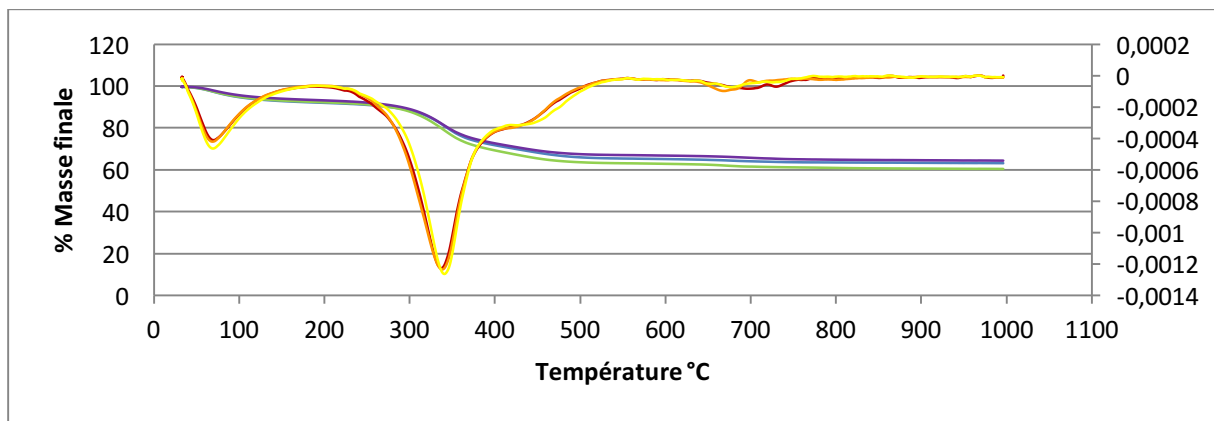
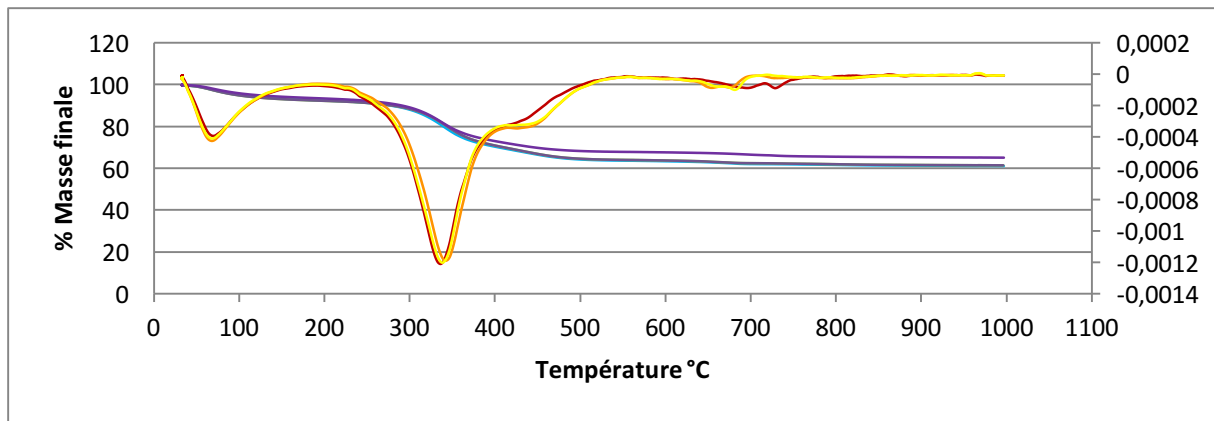


Figure 62 : Feu 3, têtes 1, 2a, 2b, 3 et 4 et zones A, B et C

L'analyse de ces courbes ne relève pas tendance forte et aucune interprétation n'est possible. La variation de la perte de masse finale était faible de l'ordre de $\pm 4\%$ de moyenne, soit 0,4 mg.

4.5.2.4 Analyse de la température

Pour chaque échantillon, deux courbes sont tracées, la première en bleu qui correspond à la perte de masse en fonction de la température par unité de temps, et la seconde la dérivée de la perte de masse en orange permettant de calculer la pente de la courbe. La dérivée sous air, met en évidence 3 pics.

- Un premier pic, noté Pic 1 aux alentours de 70°C
- Un pic plus important, ou Pic 2 est retrouvé à 340°C
- Un très léger pic, le Pic 3, autour de 770°C.
- Une zone de stagnation nommée S et repérée à environ 450°C et la zone I est la zone d'initiation du Pic 2.

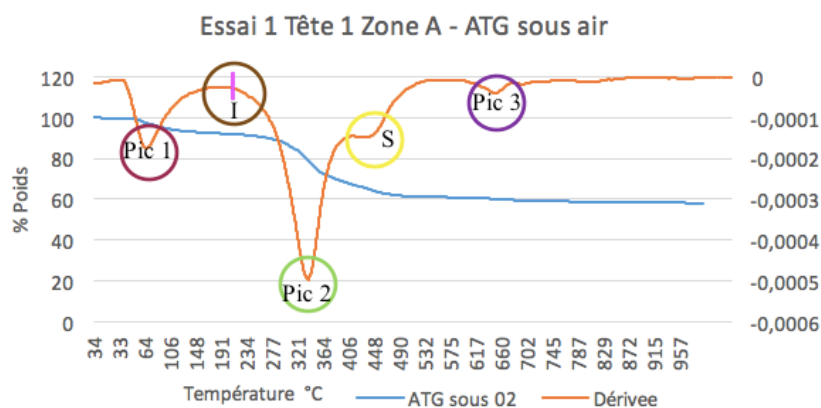


Figure 63 : Notation des différents pics 1, 2 et 3 et de la zone S présente à ATG sous air.

Il a été décidé d'effectuer un relevé des températures d'initiation du Pic 2 sur les os sains et brûlés afin de voir s'il existe une corrélation entre l'initiation du pic 2 et la température maximale reçue par les thermocouples placés dans les différentes zones.

- Os sain

Zones	Températures d'initiation °C
A	197
B	190
C	191

Tableau 26 : Moyennes des températures d'initiation du Pic 2 (Zone I)

- Os brûlé

Moyennes	Feu 1	Feu 2	Feu 3
T1 Zone A	178	186	184
T1 Zone B	183	187	188
T1 Zone C	190	188	201
T2a Zone A	188	164	161
T2a Zone B	139	183	187
T2a Zone C	128	196	172
T2b Zone A	142	196	172
T2b Zone B	145	170	187
T2b Zone C	129	197	178
T3 Zone A	129	196	191
T3 Zone B	187	187	188
T3 Zone C	193	187	188
T4 Zone A	195	194	185
T4 Zone B	198	189	190
T4 Zone C	187	191	190

Tableau 27 : Température moyenne d'initiation du pic 2 (Zone I)

	F1	F2	F3
T1 Zone A	396	317	452
T1 Zone B	291	421	515
T1 Zone C	214	175	303
T2a Zone A	134	97	238
T2a Zone B	101	98	247
T2a Zone C	97	31	102
T2b Zone A	120	98	347
T2b Zone B	122	217	150
T2b Zone C	111	81	78
T3 Zone A	-	133	127
T3 Zone B	-	129	123
T3 Zone C	-	98	97
T4 Zone A	-	120	100
T4 Zone B	-	95	101
T4 Zone C	-	64	62

Tableau 28 : Températures maximales reçues par les thermocouples durant les essais 1, 2 et 3

Après analyse, aucune relation n'a pu être mise en évidence entre la température reçue par les thermocouple et l'initiation du pic 2. Le relevé des températures détaillées des pics 1, 2 et 3 est en annexe 2, ci-dessous sont reportés les moyennes des températures d'initiation des pics 1, 2 et 3 et leurs écarts-types. L'écart-type mesure la dispersion ou l'étalement des valeurs autour de leur moyenne. Plus il est faible, plus les valeurs sont homogènes (Insee, 2016). 55% des écarts-types sont inférieurs ou égaux à 1.

	Feu 1 sous air			Feu 2 sous air			Feu 3 sous air		
	Pic 1	Pic 2	Pic 3	Pic 1	Pic 2	Pic 3	Pic 1	Pic 2	Pic 3
M T1 Zone A	67	178,5	649	68,5	186	801,5	68,6	184	794,6
E.T T1 Zone A	1,4	0,7	1,4	4,9		0,7	1,1	0	1,1
M T1 Zone B	68	182,6	664,6	71,6	187	799	68,3	188,3	791,6
E.T T1 Zone B	0	0,5	0,5	1,5	0	2	0,5	1,5	4,9
MT1 Zone C	68,3	190	731,3	73,3	187,6	792,6	71	201,3	791,6
E.T T1 Zone C	1,5	1	48,7	0,5	0,5	0,5	0	1,1	5,7
M T2a Zone A	69,5	188	668,5	71,3	164,3	792,6	72,6	161,5	790,6
E.T T2a Zone A	0,7	4,2	2,1	0,5	1,5	4	0,5	0,5	1,5
MT2a Zone B	58,6	139,3	681	69,6	183	794,6	69,3	187,3	795,6
E.T 2a Zone B	3,2	2,3	0	0,5	0	2,30	0,5	1,5	2,3
M T2a Zone C	59,3	127,6	681,6	70,3	196	804,3	69	171,6	784,6
E.T T2a Zone C	1,5	2,8	0,5	1,1	0	5	0	0,5	0,5
M T2b Zone A	64,5	142	685	71	187,3	801,6	68,6	187,3	805,6
E.T T2b Zone A	0,7	1	0	1,4	1,5	2,8	0,5	1,5	0,5
M T2b Zone B	64,3	145	685	70,5	170,3	800	69,6	177,6	805,6
E.T T2b Zone B	1,1	4,5	0	0,7	1,5	5,6	0,5	0,5	0,5
M T2b Zone C	65	128,6	696,3	73,3	196,3	800	69,6	191	795,3
E.T T2b Zone C	0	3,5	0,5	0,5	0,5	6,9	0,5	1,7	0,5
M T3 Zone A	73	186,6	700	72	186,6	797	68,3	187,6	803,6
E.T T3 Zone A	1	1,1	4,3	0	3,2	0	0,5	2	0,5
M T3 Zone B	69	188	687	74,6	185,6	797,6	67,3	188	804,3
E.T T3 Zone B	0	1	0	1,1	0,5	0,57	0,5	1	0,5
M T3 Zone C	69,3	193,6	688,6	73	187,3	793,3	69	185	785
E.T T3 Zone C	0,5	1,5	2,0	0	1,5	1,1	0	1,7	1,7
M T4 Zone A	73,6	195,3	696,6	66,3	193,6	759	68,6	190,3	789
E.T T4 Zone A	0,5	6,4	3,2	2	0,5	26,8	0,5	1,1	6,9

Tableau 29 : Relevé des pics de températures moyenne et écart-type par zone

4.5.2.5 Corrélation perte de masse et température

Os Sain		Os Brûlé	
Températures	% Perte de masse	Températures	% perte de masse
[50 – 200 °C]	5 à 10 %	[50 – 200 °C]	5 à 10 %
340 °C	20 %	Feu 1 : [345 – 355 °C] Feu 2 : [350 – 370 °C] Feu 3 : [335 – 370 °C]	20 %
[200 - 500]	10 à 35%	[350 – 600 °C] Tête 2a feu 2 et 3	20 à 40 % >40 %
[500 - 1000]	35 à 40%	650 – 1000°C	40 %

Tableau 30 : Perte de masse en fonction de la température os sain et brûlé.

Pour l'os sain et l'os brûlé, une corrélation peut être établie entre la température de chauffe et le pourcentage de perte de masse. Il sera intéressant de comprendre à quoi correspond cette perte de masse.

5 DISCUSSION

5.1 ANALYSE DES BIAIS

5.1.1 BIAIS ENGENDRÉS PAR LE MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL

5.1.1.1 ATG

Lors de l'analyse des thermogrammes, il est essentiel d'intégrer les artefacts pouvant mener à des variations d'interprétation. Ces artefacts sont définis par des modifications sur la courbe de masse qui ne sont pas générés par l'échantillon étudié. Ils peuvent être de différentes origines :

- Effets de poussée : diminution de la densité de gaz lors de la montée en température. Ce qui donne des augmentations du poids de l'échantillon.
- Pertes de poids soudaines : éjection de l'échantillon lors d'une décomposition avec dégagement de gaz.
- Variations du débit de gaz de balayage.

Pour pallier ces artefacts il est important de réaliser une courbe à blanc, le creuset est alors vide et nous mesurons l'influence de ces phénomènes physiques.

5.1.1.2 Thermocouple

Durant les essais, les thermocouples sont installés dans les zones antérieures (A), médianes (B) et postérieures (C) préalablement définies. Malgré tout, pendant l'essai, notamment lors de l'essai 1, les têtes 3 et 4 sont tombées au sol au cours de l'essai, les thermocouples ont alors été délogés et n'ont pas enregistré la température au contact osseux dans les zones demandées.

5.1.1.3 Microbalance

La microbalance de Mettler Toledo est celle requise pour la pesée des échantillons lors de leur mise en place lors du creuset avant passage à l'ATG. Cette balance est d'une précision extrême au microgramme (précision de 1 μ g pour 5g de portée). Mais elle est aussi d'une grande sensibilité à l'environnement notamment à l'air et à la température de la lumière. Son emplacement est important afin de permettre une bonne utilisation (Mettler Toledo, 2008). Les essais rapportent des variations de quelques microgrammes entre les échantillons. Ce biais est donc important à prendre en compte dans l'analyse de nos résultats. De plus lors du passage à l'ATG des échantillons sains, les températures extérieures étaient très importantes (35 °C).

5.1.2 BIAIS ENGENDRÉS PAR LE PROTOCOLE D'ETUDE

5.1.2.1 Essai conventionnel de vraie grandeur

Il est très difficile dans les essais conventionnels de vraie grandeur de paramétrer les fonctions de l'incendie et de lui donner toutes les caractéristiques souhaitées comme il est possible de le faire dans des essais de laboratoire à plus petite échelle ou l'ensemble des paramètres sont choisis et modifiés en cas de besoins au cours de l'essai. Dans nos essais, une fois le brasier enflammé aucune modification ne peut être faite avant la fin de la séance et une grande dispersion est à noter dans la chambre d'essai.

5.1.2.2 Nature de l'os : Mâchoire de porc vs mâchoire humaine

Les difficultés d'expérimentation humaine en anthropologie dues aux contraintes légales et éthiques sur les cadavres, poussent les chercheurs à trouver des espèces animales présentant des similitudes avec l'homme.

L'analyse détaillée du génome de porc, montre qu'il existe une grande similitude entre celui-ci et le génome humain. Ainsi, le porc est l'un des animaux pouvant être utilisé dans la recherche biomédicale.

L'os de porc est celui qui se rapproche le plus de l'os humain. Il présente de grandes analogies mais aussi des dissemblances regroupées dans le tableau ci-dessous (Beauthier et Mangin, 2007). Les éléments de reconnaissance entre les pièces humaines et animales se basent sur les tailles, la densité et de poids de l'os.

	Chez l'homme	Chez l'animal
Macroscopiques		Os massif, moins lisse et plus travaillé. Surface articulaire plus marquée.
Indice médullaire	Fœtus : 0,17 à 0,45 Adulte : 0,45	0,47 à 0,77
Tissu spongieux		Strié et dense
Tissu osseux		Compact avec une cortical épaisse
Ostéons	Circulaire en section transversale à la diaphyse	Allongés
Canaux de Havers	30 à 50 μm et $>$ à 25 μm	Inférieur à 20 μm
Densité des canaux de Havers	10 à 15 par mm^2	Supérieur à 20 mm^2
Densité trabéculaire et porosité corticale	69 % - 11 %	49 % - 19 %

Tableau 31 : Différences osseuses entre l'os humain et l'os animal (Quatrehomme, 2003) (Delannoy et al. 2014).

L'os de mammifère présente, comme l'os humain, des différences de structure.

Os cortical	Os trabéculaire
<ul style="list-style-type: none">• Très dense à la surface• Enveloppe résistante due à la juxtaposition des ostéons qui sont organisés en lamelles concentriques centrées sur le canal de Havers reliés perpendiculairement aux canaux transversaux de Volkmann.• Les porosités sont de petite taille régulières.	<ul style="list-style-type: none">• Souvent à l'intérieur• Structure cellulaire orientée, porosité variable et remplie par la moëlle. Agencée en travées ou trabécules ayant une organisation tridimensionnelle.• Les pores forment des espaces ouverts en larges cavités.

Figure 64 : Différences entre l'os cortical et trabéculaire du mammifère (Delannoy et al. 2014).

5.1.2.3 Os alvéolaire et os basal

Lors des prélèvements osseux, il est important de prélever juste à côté de l'endroit où le thermocouple est implanté. Il est cependant très difficile de distinguer l'os alvéolaire de l'os basal surtout dans la zone C où les tissus de soutien sont importants et rigides. Ce biais doit être pris en compte dans l'analyse de nos résultats car pour certains échantillons l'os alvéolaire doit être mélangé à l'os basal.

5.1.2.4 Tissus de soutien

Le corps présente comme l'homme des tissus de soutien et de protection de l'organe dentaire et osseux. La protection des os par la couche musculo-cutanée des joues, des lèvres et de la langue et des muscles est un élément important à prendre en compte dans l'analyse des résultats. C'est pour cela qu'il a été décidé de soumettre aux rayonnements thermiques des têtes entières de porc, plutôt que seulement des mâchoires démunies de toutes protections. Cette protection est importante puisqu'elle est encore présente sur certaine tête même après avoir été soumise à un feu. Les tissus de soutien sont l'un des éléments primordiaux de la protection osseuse et dentaire surtout au niveau de la zone molaire car l'augmentation majeure de la durée et de l'intensité du feu font que les lèvres et la langue se rétractent de façon centrifuge et laisse apparaître des tissus osseux et dentaires de la zone incisivo-canine. (Delattre, 2000).

5.1.3 BIAIS ENGENDRÉS PAR LES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

5.1.3.1 Mise en place des thermocouples

Pour évaluer l'évolution de la température à l'intérieur du tissu osseux, des thermocouples ont été placés au niveau de la zone incisive A, canine B et molaire C. Il est cependant très difficile de disposer les thermocouples au même endroit sur chaque tête. Ainsi un intervalle de +/- 5 mm est à noter pour la mise en place de chaque échantillon dans chaque zone.

5.1.3.2 Énergie reçue par les têtes

Lors des essais, il n'est pas possible de refroidir les caissons de manière équivalente entre chaque feu. Ainsi les têtes disposées dans les feux 1 et 2 ont pu recevoir une énergie sensiblement égale, alors que dans le feu 3 réalisé seulement 1 h 30 min après le feu 2 les têtes ont reçu une énergie beaucoup plus importante, la chaleur initiale du caisson étant de 50 à 55 °C contre 20 initialement.

5.1.3.3 Prélèvements osseux

Lors de l'analyse, il a été constaté que les résultats visibles macroscopiquement ne sont pas comparables avec les résultats obtenus à l'ATG. En effet les prélèvements osseux sont faits en profondeur, ce qui biaise les résultats car aucune échelle ne permet de prélever à profondeur égale en prenant en compte la dégradation de l'os afin d'être reproductible. Lors des prélèvements des têtes 1, 2a et 2b où les tissus de soutien ont totalement disparu et qu'une partie de l'os a été détruite, l'os prélevé était de l'os en profondeur alors que pour correspondre aux autres prélèvements il aurait fallu prendre des cendres. Ce biais est important car il ne permet pas de donner les conclusions de l'étude.

5.1.3.4 Masse initiale des échantillons.

Lors du passage à l'ATG, il a été décidé que la masse initiale de l'échantillon placé dans le creuset serait de 10 mg +/- 0,5 mg. Cette masse initiale n'a pas toujours pu être respectée du fait du manque de matière provoqué par un échantillonnage trop faible. Les échantillons pour lesquels la masse initiale était trop importante ou trop faible sont définis par un écart-type

supérieur à 1. Ces valeurs n'ont donc pas pu être prises en compte dans le calcul des moyennes des poids initiaux par zone.

5.2 ANALYSE DES RÉSULTATS

Il a été démontré précédemment qu'il était difficile d'interpréter les résultats car au vu des analyses et des nombreux biais engendrés par le protocole expérimental, aucune tendance dominatrice n'a pu être mise en évidence. Cependant la corrélation perte de masse et température est intéressante car mise en relation avec les données de la littérature, une interprétation peut être faite et permet de comprendre les modifications que l'os subit au cours d'un rayonnement thermique.

- Os sain

Températures	Perte de masse	Correspondance
[50 - 200]	5 à 10 %	Dissociation de l'eau du collagène (Miculescu et al. 2011). Déshydratation (Beauthier et Mangin 2007)
340 °C	20 %	
[200 - 500]	10 à 35%	Décomposition des composants organiques résiduels associés au collagène (Miculescu et al. 2011). Carbonisation (Beauthier et Mangin 2007)
[500 - 1000]	35 à 40%	Émancipation du CO ₂ de l'hydroxyapatite carbonée, la phase minérale de l'os se décompose dans l'air (phosphate β-tricalcique (TCP) et l'hydroxyapatite (HAP)) (Onishi et al. 2008) Rétrécissement et déformation osseuse (Beauthier et Mangin 2007).

Tableau 32 : Perte de masse de l'os sain en fonction de la température.

- Os brûlé

Températures	% perte de masse	Caractéristiques
[50 – 200 °C]	5 à 10 %	Dissociation de l'eau du collagène (Miculescu et al. 2011). Déshydratation (Beauthier et Mangin 2007)
Feu 1 : [345 – 355 °C] Feu 2 : [350 – 370 °C] Feu 3 : [335 – 370 °C]	20 %	Sauf feu 1 tête 1 Zone C et tête 2a Zone A ou les valeurs sont à retirées car les poids initiaux sont aberrants.
[350 – 600 °C]	20 à 40 %	Décomposition organique, libération de produits organiques volatils (Miculescu et al. 2011).
Tête 2a feu 2 et 3	>40 %	Causée par l'orientation de face. Carbonisation de l'os (Beauthier et Mangin 2007).
650 – 850°C	40 %	Sous air : Émancipation du CO ₂ de l'hydroxyapatite carbonée Rétrécissement de l'os (Beauthier et Mangin 2007).
800-1000°C	40 %	La phase minérale de l'os se décompose dans l'air (phosphate β-tricalcique (TCP) et l'hydroxyapatite (HAP)) (Onishi et al. 2008). Déformation osseuse (Beauthier et Mangin 2007).

Tableau 33 : Perte de masse en % en fonction de la température et les effets sur l'os

Dans la littérature, une correspondance entre les pertes de masse et la température a été effectuée. Cette étude a permis de confirmer les résultats. Les tableaux ci-dessus permettent de comprendre les réactions que l'os subit avec l'augmentation de la température. Nos thermocouples ont reçu une température maximale de 500 °C dans les tableaux ci-dessous, jusqu'à 500 °C mais lors du passage à l'ATG, les échantillons osseux ont reçu des températures allant jusqu'à 1000 °C.

5.3 MISE EN RELATION DES ÉTUDES ET LEUR INTÉRÊT POUR LE LCPP

Lors de catastrophes destructrices en perpétuelle augmentation notamment depuis ces 15 dernières années, l'identification par l'odontologie reste l'un des outils les plus utilisés. Il est important de comprendre et de connaître les mécanismes de dégradation de la sphère oro-faciale pour mieux appréhender et interpréter les restes humains retrouvés sur les lieux.

Ainsi, étudier la dégradation de l'os alvéolaire soumis aux rayonnements thermiques fait suite aux deux précédentes thèses d'exercices réalisées en coordination avec le LCPP. L'une sur l'étude du comportement des tissus dentaires soumis aux rayonnements thermiques : Intérêt médico-légal soutenue par le Dr Ben Cheick et la thèse du Dr. Tran sur l'étude de la dégradation d'un matériau d'obturation endodontique soumis aux rayonnements thermiques : intérêt médico-légal

Il a été démontré que la dent est l'un des éléments de l'organisme qui présente la plus grande résistance à la dégradation dans le temps. Ceci a été mis en évidence grâce à l'étude de nos ancêtres de plus de 6 millions d'années. Grâce à sa protection osseuse et musculaire, l'organe dentaire est naturellement protégé des agressions que le corps peut subir, et comprendre le mécanisme d'isolation devient alors intéressant pour appréhender les réponses de l'organe dentaire face aux rayonnements thermiques. Les dents peuvent résister à l'immersion dans l'eau douce ou salée, à la putréfaction (phénomène de décomposition de l'organisme par des germes microbiens colonisateurs) et à la crémation, grâce à leur haut degré de minéralisation.

L'émail est minéralisé à 97 – 98 % essentiellement sous forme d'hydroxyapatite, et la dentine présente un tissu minéralisé à 69 – 70 %. La dent peut également révéler le niveau social de la personne à travers les soins apportés dans la cavité buccale (Georget et al. 2015).

Une première étude a permis de démontrer que, lorsque l'organe dentaire est soumis à un rayonnement thermique celui-ci présente des caractéristiques qui lui sont propres. « Après l'étude à l'ATG des phénomènes de dégradations et traçage des courbes de perte de masse du couple ciment dentine, il a été possible de définir une véritable carte d'identité du couple ciment / dentine. La mise en évidence des phénomènes de dégradation les plus importants au cours du rayonnement thermiques ont eu lieu entre 250 et 500 °C avec pour intervalle de vitesse de perte de masse 0,02 mg / s – 0,05 mg / s. Les résultats sains / brûlés permettent de donner des informations concluantes concernant la dégradation des tissus dentaires pour un intervalle de flux thermique compris entre 20 et 50 kW / m² soit des intervalles de températures au cône calorimètre correspondant à des températures retrouvées au cours d'un incendie soit 537 à 765 °C. De plus le couple ciment / dentine pourrait participer à la modélisation du processus de l'incendie et aider à analyser la température des flux atteints au cours de l'incendie, en se basant sur un référentiel des tissus sains. Ainsi pourrait être évaluée à partir du flux thermique auquel aurait été soumis la victime, la distance entre la source de l'incendie et la victime. D'un point de vue macroscopique, il serait possible d'élaborer un Teintier Temporo - Thermique Odontologique par la mise en place d'abaques spécifiques suivant un codage informatique 97

des couleurs RBV qui permettrait de déterminer le flux thermique auquel la victime a été exposée » (Ben Cheik, 2012).

La dent n'apparaît plus seulement comme un élément d'identification médico-légale mais l'organe dentaire est devenu un outil d'aide à l'enquête post-incendie.

Une suite de l'étude qui analyse la dégradation thermique de la gutta percha et du ciment oxyde de zinc au cône calorimètre et à l'ATG met en évidence que le ciment oxyde de zinc et la gutta percha peuvent intervenir dans les scénarios d'incendie en tant que points de comparaison complémentaires. La caractérisation de la perte de masse par l'ATG est un outil plus fiable que l'étude de la dégradation de ses matériaux à l'œil nu par leur changement de couleur ou de structure macroscopique, la caractérisation de la perte de masse rend l'analyse scientifique. Cette analyse est à combiner avec l'étude de l'ensemble des restes retrouvés sur la scène d'incendie. Malgré tout, cette étude ne peut pas prédire la durée d'exposition lors de l'incendie, il aurait fallu des techniques d'analyses complémentaires (Tran, 2015).

A ces deux travaux vient s'ajouter l'étude novatrice de la dégradation par le feu de l'os alvéolaire et basal. De cette étude il ressort, par une analyse macroscopique, que l'os situé dans la partie incisivo-canine est beaucoup plus touché que l'os présent dans la zone prémolo-molaire. Ceci s'explique par la présence de tissus de soutien protecteur épais dans la zone molaire alors qu'ils sont plus fins et donc plus facilement détruits dans la zone incisivo-canine.

À cette première conclusion, s'ajoute un autre élément notable : on remarque l'existence de pics de températures qui apparaissent à des moments clés. En effet, lors de ces pics de température, on note la perte d'un des constituants osseux où transformé par l'action des rayonnements thermiques.

À savoir que 5 à 10 % de la masse initiale est perdue entre [50 – 200 °C], cette perte est le signe d'une dissociation de l'eau se trouvant dans le collagène (Miculescu et al. 2011) et d'une déshydratation osseuse (Beauthier et Mangin, 2007). Elle est retrouvée à la fois dans l'os sain et dans l'os exposés aux hautes températures dans les feux 1, 2 et 3.

Une perte de 20 % de la masse initiale survient à 350 °C pour le feu 1 et entre [335 – 370 °C] pour les essais 2 et 3. Entre [350 – 600 °C] la perte de masse est caractéristique de la carbonisation de l'os (Beauthier et Mangin 2007) et de la décomposition organique, libération de produits organiques volatils (Miculescu et al. 2011).

À partir de 600 °C jusqu'à 1000 °C, cette perte de masse est stable à 40 % et les quelques variations notées sont dues à l'émancipation du CO₂ de l'hydroxyapatite carbonée (Onishi et al. 2008) et au rétrécissement de l'os (Beauthier et Mangin 2007). Bien que cette étude soit novatrice, les résultats obtenus sont similaires à ceux retrouvés dans la littérature, ce qui démontre la qualité des techniques expérimentales utilisées.

À 1000 °C une déformation osseuse apparaît, néanmoins celle-ci n'est pas observable sur les têtes ayant servis lors de l'expérimentation puisque les températures maximales reçues par nos thermocouples sont de l'ordre de 520 °C. Cette étude ne permet pas de prédire, ni la durée d'exposition de l'os, ni les températures d'exposition. En revanche, elle permet de comprendre quelles sont les réactions qui interviennent lors de la perte de masse et à quelle température elles interviennent.

6 CONCLUSION

Depuis 2012, au sein du LCPP, la dent et les matériaux endodontiques (2015) soumis à un rayonnement thermique sont étudiés afin d'être exploités en tant que source d'indices lors d'une scène d'incendie, en jouant un rôle dans l'identification médico-légale, mais aussi comme une aide à l'investigation post-incendie. C'est dans le but de traiter la sphère oro-faciale dans sa globalité qu'il a été important de qualifier l'impact des rayonnements thermiques sur l'os alvéolaire et basal mais aussi sur les tissus de soutien. Un travail futur traitera les tissus de soutien dans leur globalité, en respectant les méthodologies précédentes afin d'être le plus répétable possible. L'ensemble des os alvéolaire et basal et des tissus de soutien ont donc été soumis à l'analyseur thermogravimétrique, outil le plus utilisé pour analyser les dégradations thermiques.

L'étude de la dégradation par le rayonnement thermique de l'os alvéolaire et basal a donc pu mettre en évidence :

- Aucune différence notable entre l'os sain et l'os brûlé lors du passage à l'ATG. Les résultats de la perte de masse étant de l'ordre de 10^{-2} sur des masses initiales faible 10^{-3} g.
- Macroscopiquement les analyses effectuées sur les têtes soumises aux rayonnements thermiques correspondent aux données acquises de la science, à savoir que les zones incisivo-canines sont les plus touchées, du fait de la rétraction centrifuge des tissus de soutien, alors que les zones prémolo-molaires sont plus protégés. Il est important de relever aussi que les têtes les plus proches du foyer de l'incendie sont aussi les plus touchées et que l'os des têtes 1, 2a et 2b a été sévèrement touché et détruit.
- Une corrélation entre la perte de masse et la température, par la répétabilité de nos analyses et vient confirmer des données déjà relevées lors d'études précédentes.

Cette étude démontre que l'os alvéolaire et l'os basal ne sont pas des indices pertinents pouvant être utilisés pour prédire la durée d'exposition d'un corps soumis à un rayonnement thermique, ainsi que la température à laquelle celui-ci a été soumis. Les os alvéolaire et basal ne permettent également pas de prédire si la mort du cadavre a été causée par le feu ou si le corps a été carbonisé une fois la personne décédée.

Les paramètres de l'incendie ne peuvent être donnés par l'étude des restes osseux retrouvés sur une scène de carbonisation avancée. Malgré tout, une analyse macroscopique détaillée permet d'effectuer une meilleure interprétation sur l'origine du foyer de l'incendie, sur son l'évolution

et sur la durée d'exposition (changement de couleur, de forme et de structure macroscopique de l'os). En effet, plus l'exposition est prolongée et plus les tables internes et externes des maxillaires sont altérées (Delattre, 2000). Ces éléments macroscopiques sont à comparer avec des preuves scientifiques notamment l'étude de l'organe dentaire où des restes humains retrouvés.

Il a donc été possible de mettre en évidence les étapes de la dégradation de l'os alvéolaire et basal lorsqu'il est soumis à un rayonnement thermique et de comprendre les étapes de décomposition de l'os, par la caractérisation de la perte de masse au cours du temps en fonction de la température.

Cette étude a permis de mettre en évidence que l'os alvéolaire et basal ne sont pas des indices pertinents permettant de caractériser un incendie mais il est important de garder à l'idée qu'il est très difficile de paramétrer les conditions d'un incendie dans un essai de vraie grandeur. Un essai de laboratoire permettrait de gérer les paramètres du feu sur toute la durée de l'étude et une analyse ultérieure de l'os pourrait mettre en avant des hypothèses qui n'ont pas été trouvées dans cette étude. De plus, par leur importante couche protectrice musculo-aponévrotique et adipo-cutané, il serait intéressant de comprendre les mécanismes de dégradation de celles-ci et de savoir jusqu'où elles interviennent dans la protection de l'organe dentaire et osseux.

9 BIBLIOGRAPHIE

Adams C, Carabott R, Evans S., « Forensic odontology : an essential guide », *Wiley Blackwell*, 2014.

Alberts BM, Johnson A, Lewis J., « Biologie moléculaire de la cellule », *Flammarion Médecine-Sciences*. 2004.

Apple JK, Wallis-Phelps WA, Maxwell CV, Rakes LK, Sawyer JT, Hutchison S, et al., « Effect of supplemental iron on finishing swine performance, carcass characteristics, and pork quality during retail display ». *Journal Animal Science*. Mars 2007 ;85(3) :737-45.

Auriol M-M, Le Charpentier Y., « Histologie de la muqueuse buccale et des maxillaires », *EMC - Médecine buccale*. 2008 :1-9

Auriol M-M, Le Charpentier Y, Le Naour G., « Histologie du parodonte », *EMC - Médecine buccale*. 2008 :1-23

Baud F. « Intoxications par les fumées d'incendie » *EMC - Pathologie professionnelle et de l'environnement*. 2008 :1-14

Beauthier J-P, Mangin P., « Traité de médecine légale », *De Boeck*. 2007.

Ben Cheikh A. « Etude du comportement des tissus dentaires soumis aux rayonnement thermiques : Intérêt médico-légal », *Thèse d'exercice odontologie médico-légale, France, Université Paris Diderot*. 2012.

Berketa J, James H, Langlois N, Richards L., « The use of incinerated pig head in dental identification simulation », *Journal Forensic Odontostomatology*. Décembre 2015 ; 33(2) :1-8.

Berkovitz BKB, Holland GR, Moxham BJ., « Oral anatomy, histology and embryology ». *Elvesier*. 2009.

Berryman HE, Kutyla AK, Russell Davis J., « Detection of Gunshot Primer Residue on Bone in an Experimental Setting : An Unexpected Finding », *Journal of Forensic Sciences*. Mars 2010 ; 55(2) :488-91.

Birky MM, Clarke FB. « Inhalation of toxic products from fires », *Bulletin of the New York Academy of Medicine*. Décembre 1981 ;57(10) :997-1013.

Blaizot F. « Contribution à la connaissance des modes de dislocation et de destruction du squelette pendant la crémation : l'apport du bûcher funéraire en fosse du Néolithique final à Reichstett-Mundolsheim (Bas-Rhin) », *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*. 1 juin 2005 ;(17 (1-2)) :13-35.

Bohnert M, Rost T, Pollak S., « The degree of destruction of human bodies in relation to the duration of the fire », *Forensic Science International*. Juillet 1998 ;95(1) :11-21.

Bouchard P, Frémont M, Sanz M., « Parodontologie & dentisterie implantaire », *Lavoisier Médecine Science* ; 2015.

Brachet M, Giraud D, Teysseres N, Pradier J-P, Stéphanazzi J, Seyeux A-L, et al., « Brûlures de la face au stade aigu ». *EMC - Techniques chirurgicales - Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique*. 2008 :1-36

- Castillo RF, Ubelaker DH, Acosta JAL, Fuente GAC., « Effects of temperature on bone tissue. Histological study of the changes in the bone matrix », *Forensic Science International*. 10 mars 2013 ;226(1) :33-7.
- Cazalbou S, Eichert D, Drouet C, Combes C, Rey C. « Minéralisations biologiques à base de phosphate de calcium », *Comptes Rendus Palevol*. Octobre 2004 ;3(6-7) :563-72.
- Chenu C, Delmas P-D., « Physiologie de l'os », *EMC - Appareil locomoteur*. 1994 :1-0
- Daideri G, Berthier F, Brocker P, Darmon M-J, Mignolet F, Quaranta J-F, et al. « L'escarre à l'hôpital en 2003 : enquête de prévalence un jour donné », *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*. Décembre 2006 ; 54(6) : 517-27
- Davidson SRH, James DF. « Measurement of thermal conductivity of bovine cortical bone », *Medical Engineering & Physics*. Décembre 2000 ;22(10) : 741-7.
- DeHaan J, Campbell S, Nurbakhsh S., « Combustion of animal fat and its implications for the consum », *Science & Justice*. 1999 ; 39(1) 27-38.
- DeHaan J, Crowhurst D, Hoare D, Bensilum M, Shipp M., « Deflagrations involving stratified heavier than air vapor / air mixtures », *Fire Safety Journal*. 2001 ; 36(7): 693-710.
- DeHaan JD, Nurbakhsh S., « Sustained combustion of an animal carcass and its implications for the consumption of human bodies in fires », *Journal Forensic Science*. Septembre 2001 ;46(5) :1076-81.
- Delannoy Y, Colard T, Bécart A, Penel G, Maréchal C, Gosset D, et al., « Recherche sur le cadavre : perspectives en anthropologie lésionnelle par utilisation d'un modèle animal étudié en microtomographie », *La Revue de Médecine Légale*. Juin 2014 ;5(2) :83-90.
- Delattre V., « Burned beyond recognition : Systematic approach to the dental identification of charred human remains », *Journal Forensic Science*. Mai 2000 ; 45(3) 589-96.
- Ellingham STD, Thompson TJU, Islam M., « The Effect of Soft Tissue on Temperature Estimation from Burnt Bone Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy », *Journal Forensic Science*. Janvier 2016 ;61(1) :153-9.
- Georget C, Conigliaro A, Schuliar Y, Louis JP., « Identification dentaire : procédures et techniques », France. *Éditions de l'actualité scientifique Poitou-Charentes*. 2015.
- Georget C, Laborier C, Danjard C.,« Rôle du chirurgien-dentiste lors des catastrophes » *EMC - Médecine buccale 2008 ;3(1):1-11*
- Glassman DM, Crow RM., « Standardization model for describing the extent of burn injury to human remains », *Journal Forensic Science*. Janvier 1996 ;41(1):152-4
- Goff IL., « Brûler le défunt pour traverser le temps des funérailles ». *Les nouvelles de l'archéologie*. 30 juin 2013 ;(132) :41-7.
- Goldberg M. « Os des maxillaires et de la mandibule », *EMC, Médecine-Buccale*. 2015 ;10(5) :1-1
- Goldberg M, Farge P, Héritier M, Klapisz-Wolikow M., « Manuel d'histologie et de biologie buccale : la dent et ses tissus de soutien », *Masson*. 1989.

- Golubovich LL. « Forensic medical expertise on burned bone remains », *Sud Med Ekspert.* Juin 1990 ;33(2) :24-8.
- Gray H, Drake RL, Vogl AW, Mitchell AWM, Tibbitts RM, Richardson PE., « Gray's anatomie pour les étudiants », *Elsevier.* 2006.
- Gresham JD, McPeake SR, Bernard JK, Henderson HH., « Commercial adaptation of ultrasonography to predict pork carcass composition from live animal and carcass measurements », *Journal of Animal Science.* Mars 1992 ;70(3) :631-9.
- Grévin G. « Apport archéologique et médico-légal de l'étude de la crémation sur bûcher en Inde et au Népal, Études sur la mort ». *L'esprit du temps.* Février 2007 ;(132) :23-8.
- Huang C, Liu Y, Chen L, Chen Y., « Temperature rise of alveolar bone during dental implant drilling using the finite element simulation », *Life Science Journal.* 2010 ; 7(1) : 68 – 72 .
- Janković B, Kolar-Anić L, Smičiklas I, Dimović S, Arandelović D., « The non-isothermal thermogravimetric tests of animal bones combustion », *Part. I. Kinetic analysis. Thermochimica Acta.* Novembre 2009 ;495(1-2) :129-38.
- Joschek S, Nies B, Krotz R, Göferich A., « Chemical and physicochemical characterization of porous hydroxyapatite ceramics made of natural bone ». *Biomaterials.* Août 2000 ;21(16) :1645-58.
- Jouve J-L, Bollini G, Launay F, Glard Y, Craviari T, Guillaume J-M, et al., « Cartilage de croissance et croissance en orthopédie ». *EMC - Appareil locomoteur.* Janvier 2009 ;4(1) :1-15.
- Keough N, L'Abbé EN, Steyn M, Pretorius S., « Assessment of skeletal changes after post-mortem exposure to fire as an indicator of decomposition stage », *Forensic Science International.* Janvier 2015 ;246 :17-24.
- Kierszenbaum AL., « Histology and cell biology: an introduction to pathology », *Mosby.* 2002.
- Kierszenbaum AL. « Histologie et biologie cellulaire : une introduction à l'anatomie pathologique », *Belgique. De Boeck.* 2008.
- Laborier C, Georget C, Danjard C., « Rôle du chirurgien-dentiste lors des catastrophes », *EMC – Odontologie.* 2007 :1-11
- Lasbeur L, Thélot B., « Évolution de la mortalité par accident de la vie courante en France métropolitaine 2000–2010 : focus sur les incendies », *EMC - Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique.* 2014; 62S (2014) : 213–54
- Lim JJ., « Thermogravimetric analysis of human femur bone », *Journal of Biological Physics.* Septembre 1975 ;3(3) :111-29.
- Lorimier S, Kemoun P., « Histophysiologie du parodonte », *EMC - Médecine buccale.* 2012 ;7(6) :1-23
- Lüllmann-Rauch R., « Histologie », *Belgique : De Boeck.* DL 2008.
- Marciniak S-M., « A preliminary assessment of the identification of saw marks on burned bone », *Journal of Forensic Science.* Juillet 2009 ;54(4) :779-85.
- Markus J-P, Cristol D, Peigné J. Sprungard S, « Code de la santé publique », France. *Dalloz, DL* 2014.

Mayaud Y., Gayet C., « Code pénal », France. *Dalloz*. 2014.

McKinley MP, Dean O'Loughlin V, Stouter Bidle T, Bélanger D, Cordeau M, Des Serres A, et al., « Anatomie et physiologie : une approche intégrée », *Maloine*. 2014.

Miculescu F, Ciocan L.T, Miculescu M, AErnuteanu A., « Effect of heating process on micro structure level of cortical bone prepared for compositional analysis ». *ResearchGate*. Janvier 2011 ;6(1) :225-33.

Mkukuma LD, Skakle JMS, Gibson IR, Imrie CT, Aspden RM, Hukins DWL., « Effect of the proportion of organic material in bone on thermal decomposition of bone mineral : an investigation of a variety of bones from different species using thermogravimetric analysis coupled to mass spectrometry, high-temperature X-ray diffraction, and Fourier transform infrared spectroscopy », *Calcified Tissue International*. Octobre2004 ;75(4) :321-8.

Netter FH., « Atlas of human anatomy », Etats-Unis d'Amérique. *Elsevier*. 2011.

Nossintchouk R, Tavernier J-C, Ceccaldi PF, Burdairon G., « Manuel d'odontologie médico-légale », *Masson* 1991.

Onishi A, Thomas PS, Stuart BH, Guerbois JP, Forbes SL. « TG-MS analysis of the thermal decomposition of pig bone for forensic applications », *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*. Avril 2008 ;92(1) :87-90.

Orcel P, de Vernejoul M-C. « Histologie de l'os normal », *EMC - Appareil locomoteur*. 1995 :1-0

Perrier M. « Introduction à l'odontostomatologie médico-légale » *Schweiz Monatschr Zahmed*. 1998 : 108 (3) :237-53

Raja S, Thomas PS, Stuart BH, Guerbois JP, O'Brien C., « The estimation of pig bone age for forensic application using thermogravimetric analysis », *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Octobre 2009 ;98(1) :173.

Rallon C, Collet G, Hugues T, Cerino D. Laborier C, Danjard C., « Odontologie médico-légale : identification des personnes », *Arnette – CdP*. 2013.

Rho JY, Kuhn-Spearing L, Zioupos P., « Mechanical properties and the hierarchical structure of bone », *Medical Engineering & Physics*. Mars 1998 ;20(2) :92-102.

Sainrat A, Chesné L., « Essais normalisés de réaction au feu - Principes généraux et vocabulaire », 2005.

Schmidt CW, Symes SA., « The analysis of burned human remains », *Academic Press*. 2015.

Slaoui S, Bounahmidi T., « Étude expérimentale et modélisation de la cinétique de décomposition de la pierre à chaux ». *Compte Rendu Chimie*. 2004 ; 7 (5) : 559-68.

Stan G., Morosanu C., Marcov D., Pasuk I, Miculescu F, Reumont G., « Effect of annealing upon the structure and adhesion properties of sputtered bio-glass/titanium coatings », *Science Direct*. 2009 ; 255 (22)9132-138.

Tran A-T., « Etude de la dégradation d'un matériau d'obturation endodontique soumis aux rayonnements thermiques : Intérêt médico-légal », *Thèse d'exercice odontologie médico-légale, France, Université Paris Diderot*. 2012.

Vialet A, André L, Aoudia L., « L'Homme fossile d'Asselar (actuel Mali). Étude critique, mise en perspective historique et nouvelles interprétations », *L'Anthropologie*. Juin 2013 ;117(3) :345-61.

Villanueva PE, Girela F, Castellanos M., « The application of differential thermal analysis and thermogravimetric analysis to dating bone remains », *Journal of Forensic Science*. October 1976 ;21(4) :822-30.

Waterhouse K., « Post-burning fragmentation of calcined bone: implications for remains recovery from fatal fire scenes », *Journal of Forensic and Legal Medicine*. November 2013 ;20(8) :1112-7.

Waterhouse K., « The effect of victim age on burnt bone fragmentation : implications for remains recovery ». *Forensic Science International*. Septembre 2013 ;231(1-3) : 409.e1-7.

Wiederkehr G, Henry X, Guiomard P, Tisserand A, Venandet G, Jacob F, « Code civil », France. *Dalloz, DL* 2014.

Wirth E, Guitteny F, Mathonat C., « Thermogravimétrie », *Techniques de l'Ingénieur*. 2014

Zazzo A, Saliège J-F, Person A, Boucher H., « Radiocarbon dating of cremated bones : where does the carbon come from ? », *The Arizona Board of Regents on behalf of the University of Arizona*. 2009 ; 51(2) :601-11

Zelenov E., « Experimental investigation of the thermophysical properties of compact bone ». *Mechanics of Composite Materials*. November 1986 ; 21(6) :759-62

Sources Internet :

Chapitre 41 - Les incendies <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo041.htm>

FAED : Fichier automatisé des empreintes digitales | CNIL

<https://www.cnil.fr/fr/faed-fichier-automatise-des-empreintes-digitales>

Insee - Définitions, méthodes et qualité - Écart-type

<http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/ecart-type.htm>

Insee - Santé - Principales causes de décès en 2013

http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?ref_id=natfps06205

La réglementation Recherche animale.

<http://www.recherche-animale.org/decouvrir-la-recherche-animale/la-reglementation>

« Le génome porcine révèle de nouvelles similitudes avec l'homme »

<http://www.inra.fr/Grand-public/Genetique/Toutes-les-actualites/Sequencage-du-genome-du-porc>

Législation pour les crématoriums

<http://www.afif.asso.fr/francais/conseils/legislation/crematorium.html>

Police-Scientifique.com. Fichier National Automatisé des Empreintes Génétiques (FNAEG), 2013 <http://www.police-scientifique.com/adn/fnaeg/>

Police-Scientifique.com. Identification et FAED, 2013.

<http://www.police-scientifique.com/empreintes-digitales/identification-et-faed>

Rapport incendie en milieu confiné - incendie_milieu_confine_web.pdf

http://www.ineris.fr/centredoc/incendie_milieu_confine_web.pdf

Risque d'incendies : à la maison, un réflexe en plus, c'est un risque en moins - dp041019.pdf

<http://inpes.santepubliquefrance.fr/70000/dp/04/dp041019.pdf>

8 ANNEXES

ATG : Analyseur Thermo Gravimétrique

DDSC : Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles

DGSCGC : Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

Insee : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

Inserm – CépiDc : Institut national de la santé et de la recherche médicale

	Feu 1		Feu 2		Feu 3	
	% Masse finale	Poids initial mg	% Masse finale	Poids initial mg	% Masse finale	Poids initial mg
T1 Zone A1	58,18	8,14	70,45	9,78	58,36	10,1
T1 Zone A2	78,36	17,92	71,4	4,23	58,45	9,17
T1 Zone A3					58,54	10,2
M T1 Zone A	68,27	13,03	70,92	7,01	58,45	9,82
E T T1 Zone A	14,26	6,91	0,67	3,92	0,09	0,56
T1 Zone B1	2,84973	3,61	61,23	8,27	60,01	9,72
T1 Zone B2	75,9	15,56	61,27	9,94	59,93	10,13
T1 Zone B3	61,03	9,01	61,14	9,61	59,87	9,2
M T1 Zone B	44,69	9,39	61,21	9,27	59,93	9,68
E T T1 Zone B	41,83	5,98	0,06	0,88	0,07	0,46
T1 Zone C1	62,11	10,33	65,31	10,11	69,1	9,35
T1 Zone C2	23,66	4,66	65,27	9,35	69,11	9,4
T1 Zone C3	28,01	5,04	65,34	9,99	69,05	9,61
M T1 Zone C	37,92	6,67	65,30	9,81	69,08	9,45
E T T1 Zone C	21,05	3,16	0,03	0,40	0,03	0,13
T2a Zone A1	30,59	4,66	56,99	9,62	53,59	9,7
T2a Zone A2	75,73	14,59	57,07	9,1	53,73	9,18
T2a Zone A3			57,01	9,76	53,63	9,68
M T2a Zone A	53,16	9,62	57,02	9,49	53,65	9,52
E T T2a Zone A	3,91	7,02	0,04	0,34	0,07	0,29
T2a Zone B1	64,09	9,85	61,22	9,49	58,99	9,22
T2a Zone B2	63,64	10,25	61,14	9,49	58,95	9,56
T2a Zone B3	65,12	5,58	61,13	10,05	58,95	9,4
M T2a Zone B	64,28	8,56	61,16	9,67	58,96	9,39
E T 2a Zone B	0,75	2,58	0,04	0,32	0,02	0,17
T2a Zone C1	64,97	9,33	65,99	9,7	54,17	9,72
T2a Zone C2	65,77	10,39	65,96	10,62	54,02	9,56
T2a Zone C3	67,59	6,31	65,99	10,12	54,1	9,54
M T2a Zone C	66,11	8,67	65,98	10,14	54,09	9,60
E T T2a Zone C	1,34	2,11	0,01	0,46	0,07	0,09
T2b Zone A1	61,98	9,66	61,96	9,72	60,23	9,76
T2b Zone A2	62,8	9,86	61,99	10,77	60,52	9,64
T2b Zone A3	63,41	9,37	61,85	10,41	60,49	9,42
M T2b Zone A	62,39	9,63	61,93	10,3	60,41	9,60
E T T2b Zone A	0,57	0,24	0,07	0,53	0,15	0,17
T2b Zone B1	63,08	9,33	64,67	10,1	60,14	9,28
T2b Zone B2	6,57	10,37	64,73	10,35	60,07	9,75
T2b Zone B3	63,83	6,68	64,62	9,44	59,98	10,18
M T2b Zone B	34,82	8,79	64,67	9,963	60,06	9,73

E T T2b Zone B	39,95	1,90	0,05	0,47	0,08	0,45
T2b Zone C1	58,55	9,93	65,36	10,45	62,42	9,33
T2b Zone C2	58,5	9,69	65,26	10,28	61,04	9,91
T2b Zone C3	58,98	9,99	65,13	10,38	61,22	10,47
M T2b Zone C	58,67	9,87	65,25	10,37	61,56	9,90
E T T2b Zone C	0,26	0,15	0,11	0,08	0,75	0,57
T3 Zone A1	61,71	9,31	64,81	9,79	61,11	9,37
T3 Zone A2	61,87	9,43	64,84	9,39	61,3	9,95
T3 Zone A3	61,89	9,32	64,74	9,72	61,32	9,71
M T3 Zone A	61,82	9,35	64,79	9,63	61,24	9,67
E T T3 Zone A	0,09	0,06	0,05	0,21	0,11	0,29
T3 Zone B1	61,84	10,07	62,84	11,08	61,26	10,03
T3 Zone B2	61,82	9,63	62,84	10,28	61,33	9,62
T3 Zone B3	61,7	9,39	62,84	10,13	61,28	9,69
M T3 Zone B	61,78	9,69	62,84	10,49	61,29	9,78
E T T3 Zone B	0,07	0,34	0	0,51	0,03	0,21
T3 Zone C1	65,3	9,98	64,54	10,14	65,04	9,73
T3 Zone C2	65,36	9,45	64,52	9,87	65,1	9,56
T3 Zone C3	65,39	9,57	64,53	8,96	65,13	9,5
M T3 Zone C	65,35	9,66	64,53	9,65	65,09	9,59
E T T3 Zone C	0,04	0,27	0,01	0,61	0,04	0,11
T4 Zone A1	65,01	9,45	64,93	9,6	63,2	9,91
T4 Zone A2	64,63	9,13	65	10,5	63,14	9,5
T4 Zone A3	65,06	10,01	64,86	6,2	63,29	9,55
M T4 Zone A	64,9	9,53	64,93	8,76	63,21	9,65
E T T4 Zone A	0,23	0,44	0,07	2,26	0,07	0,22
T4 Zone B1	59,19	9,77	62,54	9,27	60,53	9,92
T4 Zone B2	59,1	10,1	62,66	6,71	60,59	10,14
T4 Zone B3	59,1	9,74			60,61	10,04
M T4 Zone B	59,13	9,87	62,6	7,99	60,57	10,03
E T T4 Zone B	0,05	0,19	0,08	1,81	0,04	0,11
T4 Zone C1	64,86	10,02	64,53	9,93	64,3	10,28
T4 Zone C2	64,83	9,99	64,52	9,5	64,33	9,73
T4 Zone C3	64,86	9,808	64,49	10,54	64,31	9,39
M T4 Zone C	64,85	9,93	64,51	9,99	64,31	9,8
E T T4 Zone C	0,01	0,11	0,02	0,52	0,01	0,44

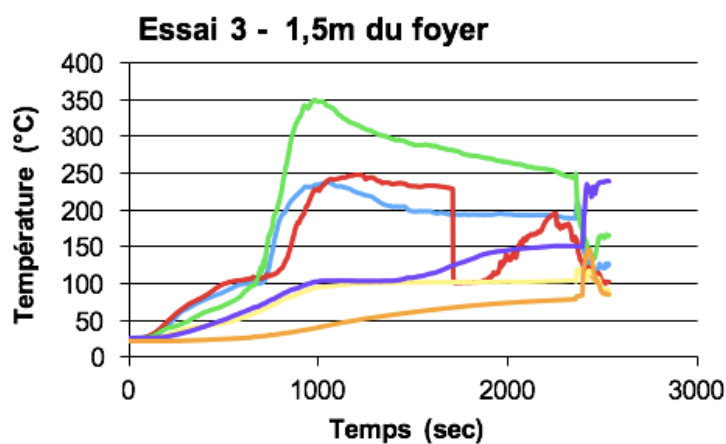
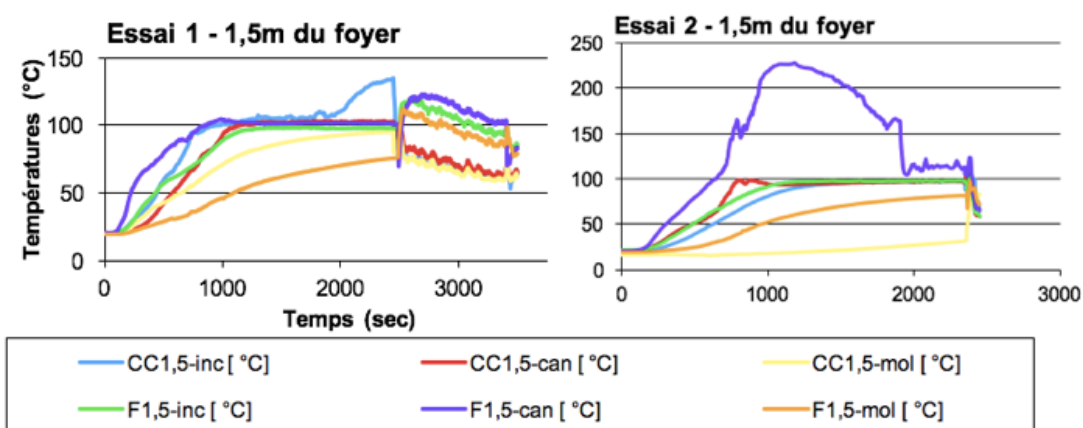
Annexe 1 : Poids initiaux en mg avant passage à l'ATG et pourcentage de masse finale après passage l'ATG. Les valeurs aberrantes sont en rouge.

	Feu 1 sous air			Feu 2 sous air			Feu 3 sous air		
	Pic 1	Pic 2	Pic 3	Pic 1	Pic 2	Pic 3	Pic 1	Pic 2	Pic 3
T1 Zone A1	66	179	648	72	186	801	68	184	796
T1 Zone A2	68	178	650	65	186	802	68	184	794
T1 Zone A3							70	184	794
M T1 Zone A	67	178,5	649	68,5	186	801,5	68,6	184	794,6
E.T T1 Zone A	1,4	0,7	1,4	4,9		0,7	1,1	0	1,1
T1 Zone B1	68	183	665	70	187	797	68	187	795
T1 Zone B2	68	182	664	73	187	801	69	190	794
T1 Zone B3	68	183	665	72	187	799	68	188	786
M T1 Zone B	68	182,6	664,6	71,6	187	799	68,3	188,3	791,6
E.T T1 Zone B	0	0,5	0,5	1,5	0	2	0,5	1,5	4,9
T1 Zone C1	70	191	675	73	187	793	71	202	785
T1 Zone C2	67	190	759	73	188	793	71	200	795
T1 Zone C3	68	189	760	74	188	792	71	202	795
MT1 Zone C	68,3	190	731,3	73,3	187,6	792,6	71	201,3	791,6
E.T T1 Zone C	1,5	1	48,7	0,5	0,5	0,5	0	1,1	5,7
T2a Zone A1	69	185	667	71	164	789	73	161	791
T2a Zone A2	70	191	670	71	163	792	72	162	792
T2a Zone A3				72	166	797	73	162	789
M T2a Zone A	69,5	188	668,5	71,3	164,3	792,6	72,6	161,5	790,6
E.T T2a Zone A	0,7	4,2	2,1	0,5	1,5	4	0,5	0,5	1,5
T2a Zone B1	61	142	681	69	183	792	69	187	793
T2a Zone B2	60	138	681	70	183	796	70	186	797
T2a Zone B3	55	138	681	70	183	796	69	189	797
MT2a Zone B	58,6	139,3	681	69,6	183	794,6	69,3	187,3	795,6
E.T 2a Zone B	3,2	2,3	0	0,5	0	2,30	0,5	1,5	2,3
T2a Zone C1	59	131	682	69	196	799	69	172	785
T2a Zone C2	61	126	682	71	196	809	69	171	785
T2a Zone C3	58	126	681	71	196	805	69	172	784
M T2a Zone C	59,3	127,6	681,6	70,3	196	804,3	69	171,6	784,6
E.T T2a Zone C	1,5	2,8	0,5	1,1	0	5	0	0,5	0,5
T2b Zone A1				70	187	805	68	187	805
T2b Zone A2	65	143	685	72	186	801	69	189	806
T2b Zone A3	64	141	685	71	189	799	69	186	806

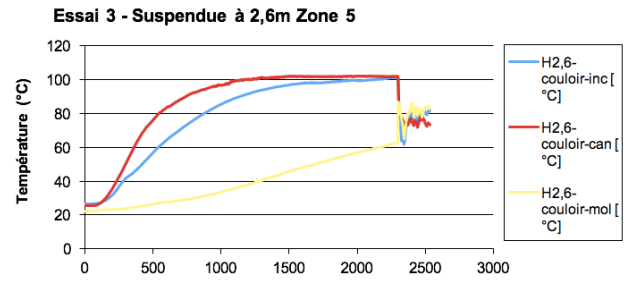
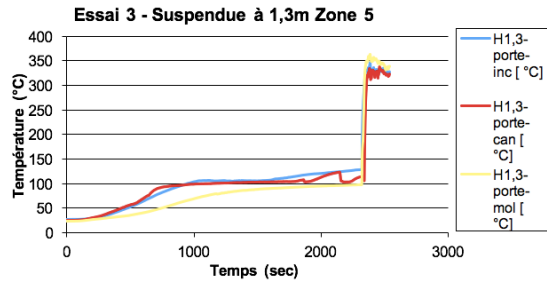
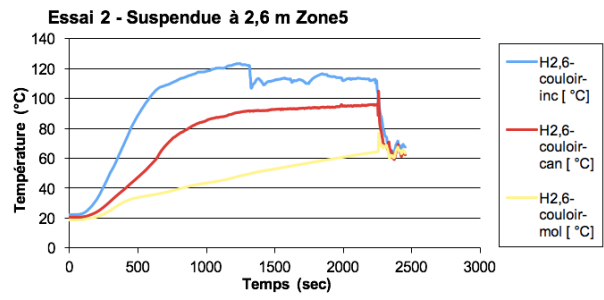
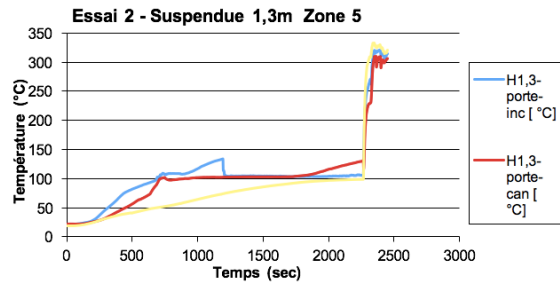
M T2b Zone A	64,5	142	685	71	187,3	801,6	68,6	187,3	805,6
E.T T2b Zone A	0,7	1	0	1,4	1,5	2,8	0,5	1,5	0,5
T2b Zone B1	65	146	685	70	172	796	69	177	805
T2b Zone B2	65	149	685	71	170	804	70	178	806
T2b Zone B3	63	140	685	70	169	797	70	178	806
M T2b Zone B	64,3	145	685	70,5	170,3	800	69,6	177,6	805,6
E.T T2b Zone B	1,1	4,5	0	0,7	1,5	5,6	0,5	0,5	0,5
T2b Zone C1	65	132	696	73	197	808	69	193	795
T2b Zone C2	65	125	697	73	196	796	70	190	795
T2b Zone C3	65	129	696	74	196	796	70	190	796
M T2b Zone C	65	128,6	696,3	73,3	196,3	800	69,6	191	795,3
E.T T2b Zone C	0	3,5	0,5	0,5	0,5	6,9	0,5	1,7	0,5
T3 Zone A1	72	186	705	72	189	797	68	186	803
T3 Zone A2	73	186	697	72	188	797	69	190	804
T3 Zone A3	74	188	698	72	183	797	68	187	804
M T3 Zone A	73	186,6	700	72	186,6	797	68,3	187,6	803,6
E.T T3 Zone A	1	1,1	4,3	0	3,2	0	0,5	2	0,5
T3 Zone B1	69	189	687	76	186	797	67	187	804
T3 Zone B2	69	188	687	74	185	798	68	189	804
T3 Zone B3	69	187	687	74	186	798	67	188	805
M T3 Zone B	69	188	687	74,6	185,6	797,6	67,3	188	804,3
E.T T3 Zone B	0	1	0	1,1	0,5	0,57	0,5	1	0,5
T3 Zone C1	70	195	687	73	186	792	69	187	787
T3 Zone C2	69	194	688	73	189	794	69	184	784
T3 Zone C3	69	192	691	73	187	794	69	184	784
M T3 Zone C	69,3	193,6	688,6	73	187,3	793,3	69	185	785
E.T T3 Zone C	0,5	1,5	2,0	0	1,5	1,1	0	1,7	1,7
T4 Zone A1	73	188	698	67	193	754	69	191	785
T4 Zone A2	74	200	699	68	194	788	68	189	785
T4 Zone A3	74	198	693	64	194	735	69	191	797
M T4 Zone A	73,6	195,3	696,6	66,3	193,6	759	68,6	190,3	789
E.T T4 Zone A	0,5	6,4	3,2	2	0,5	26,8	0,5	1,1	6,9
T4 Zone B1	71	194	654	66	187	748	68	190	800
T4 Zone B2	71	205	654	63	191	745	69	191	800
T4 Zone B3	71	196	654				69	191	799

M T4 Zone B	71	198,3	654	64,5	189	746,5	68,6	190,6	799,6
E.T T4 Zone B	0	5,8	0	2,1	2,8	2,1	0,57	0,5	0,5
T4 Zone C1	70	187	682	70	191	701	70	186	784
T4 Zone C2	70	187	681	70	191	694	70	186	783
T4 Zone C3	71	187	687	71	191	690	70	189	788
M T4 Zone C	70,3	187	683,3	70,3	191	695	70	187	785
E.T T4 Zone C	0,5	0	3,2	0,5	0	5,5	0	1,7	2,6

Annexe 2 : Pics de températures des différents feux sous air, moyenne et écart-type



Annexe 3 : Températures reçues par les thermocouples des têtes 2a et 2b orientées couche feu et face foyer, durant les essais 1, 2 et 3



Annexe 4 : Températures reçues par les thermocouples des têtes 3 et 4, essais 2 et 3.

9 TABLES DES ILLUSTRATIONS

9.1 FIGURES

Figure 1 : Répartition des décès en France en 2013 (Insee, 2014).....	8
Figure 2 : Répartition des interventions des sapeurs-pompiers en 2014 (DGSCGC, 2015).....	8
Figure 3 : Mode de propagation des fumées au cours d'un incendie	9
Figure 4 : Nombre de victime en France en fonction de la nature de l'incendie en 2009 (DDSC, 2007)	10
Figure 5 : Scénario d'une combustion amorcée	11
Figure 6 : Triangle du feu.....	12
Figure 7 : Tétraèdre du feu.....	12
Figure 8 : Les phases de développement d'un incendie	13
Figure 9 : Mode de propagation d'un incendie	15
Figure 10 : Directions anatomiques de l'os long (Davidson et James 2000)	17
Figure 11 : Représentation schématique d'une surface en combustion permettant de représenter les processus de transfert de chaleur et de masse (Drysdale, 1985)	19
Figure 12 : Rôles et fonctions des téguments(Alberts et al., 2004):	23
Figure 13 : Diagramme de l'architecture cellulaire d'une peau épaisse (Alberts et al., 2004).....	24
Figure 14 : Changements de couleurs provoqués par un incendie	27
Figure 15 : Changements de formes provoqués par un incendie.....	27
Figure 16 : Eléments détruits lors d'un incendie.....	27
Figure 17 : Les effets de la carbonisation sur la face.....	28
Figure 18 : Récapitulatif des deux processus d'ossification	31
Figure 19 : Structure d'une molécule de collagène (Alberts et al., 2004)	33
Figure 20 : Différenciation des ostéoblastes (Chenu et Delmas, 1994).	35
Figure 21 : Os alvéolaire. La racine dentaire a pris place dans l'alvéolaire. Un os compact, la lamina dura, est visible sur la partie gauche alors qu'à droite, est présent un os spongieux.....	38
Figure 22 : Les os de la face et de leur composition osseuse.....	39
Figure 23 : Changements induits dans l'os en fonction de la température.	40
Figure 24 : Modifications intervenant dans l'os brûlé.....	42
Figure 25 : Système de classification par degré d'altération thermique.....	43
Figure 26 : Echelle de Corbeau et Glassman pour la reconnaissance humaine en fonction de la modification thermique du corps.....	43
Figure 27 : Fracture transversale incurvée (Schmidt et Symes, 2015).	47
Figure 28 : Modification macroscopique et colorimétrique de l'os suivant les étapes de la carbonisation.	48
Figure 29 : Couleur de l'os en fonction de la température.	49
Figure 30 : Changement induit thermiquement sur un radius avec la direction du flux de chaleur (Schmidt et Symes 2015).	49

Figure 30 : Changement subi par l'os en fonction du degré de carbonisation (Schmidt et Symes, 2015).	50
Figure 32 : Caisson maritime servant pour les essais	54
Figure 33 : Les zones et leurs températures (LCPP, 2015).	55
Figure 34 : Descriptif du caisson de transport maritime dans lequel les expériences ont eu lieu (LCPP).	55
Figure 35 : Tête 1 à 50 cm du foyer au sol, orientée couche feu avec thermocouples en place.	57
Figure 36 : A : Tête 2a et 2b situées à 1,5m du foyer au sol, orientés face au foyer pour 2a et couche feu pour 2b	57
Figure 37 : Thermocouple de type K	58
Figure 38 : Zone antérieure (A), médiane (B) et postérieure (C) d'implantation des thermocouples.	58
Figure 39 : Porte ouverte, située à 11,73 m du foyer de l'incendie, qui prend feu 20 minutes après l'allumage.	59
Figure 40 : Relevé des mesures de températures durant les essais 1, 2 et 3 en fonction des zones, et relevés des températures des têtes de porc au niveau du positionnement des thermocouples.	61
Figure 41 : Zone d'installation pour la réalisation des prélèvements.	62
Figure 42 : Schéma d'un ATG et principe de mesure (Mettler Toledo, 2016)	65
Figure 43 : Photo de l'ATG et coupe du four (Mettler Toledo, 2016)	66
Figure 44 : Paramètres de l'ATG pour l'étude.	67
Figure 45 : Echantillons de 10 mg +/- 0,5 mg d'os installés dans les creusets avant le passage à l'ATG.....	67
Figure 46 : Têtes 1 de face, de profil, et zoom lors des 1, 2 et 3	69
Figure 47 : Têtes 2a de face, de profil et zoom lors des essais 1, 2 et 3.....	71
Figure 48 : Têtes 2b de face, de profil et zoom sur la mâchoire des essais 1, 2 et 3.....	72
Figure 49 : Têtes 3 de face, de profil et zoom lors des essais 1, 2 et 3.....	74
Figure 50 : Têtes 4 de face, de profil et zoom lors des essais 1, 2 et 3.....	75
Figure 51 : Descriptif du nombre d'essai par tête.	76
Figure 52 : Perte de masse en fonction de la température au cours du temps Feu 3 sous N2, Tête 2a Zone antérieure (A).	77
Figure 53 : Dérivée de la perte de masse Feu 3 sous N2, Tête 2a Zone antérieure (A).....	77
Figure 54 : Diagramme du % moyen de masse finale de chaque zone saine, ATG sous air	78
Figure 55 : Diagramme du % de masse finale de chaque zone, ATG sous air, échantillons brûlés feu 1	80
Figure 56 : Diagramme du % de masse finale de chaque zone, ATG sous air, échantillons brûlés feu 2	80
Figure 57 : Diagramme du % de masse finale de chaque zone, ATG sous air, échantillons brûlés feu 3	80
Figure 58 : Courbes représentées sur les graphiques	81
Figure 59 : Os sain perte de masse en % et dérivée en s ⁻¹	82
Figure 60 : Feu 1 têtes 1, 2a, 2b, 3 et 4 et zones A, B et C	83
Figure 61 : Feu 2, têtes 1, 2a, 2b, 3 et 4 et zones A, B et C	85
Figure 62 : Feu 3, têtes 1, 2a, 2b, 3 et 4 et zones A, B et C	86
Figure 63 : Notation des différents pics 1, 2 et 3 et de la zone S présente à ATG sous air.	87
Figure 64 : Différences entre l'os cortical et trabéculaire du mammifère (Delannoy et al. 2014).	93

9.2 TABLEAUX

Tableau 1 : Evolution des taux de décès dans des feux (Inserm – CépiDc, 2012)	7
Tableau 2 : Nombre de victimes par année en fonction de la nature du feu (Fortin, 2013).....	10
Tableau 3 : Les différentes classes des feux.....	12
Tableau 4 : Mesures de la conductivité thermique de l'os cortical (Davidson et James, 2000).....	17
Tableau 5 : Couleur de la flamme en fonction de la température (DeHann and Icove, 2012).....	20
Tableau 6 : Modifications que subissent les tissus durs et mous lors d'exposition à des flux thermiques.....	26
Tableau 7 : Classification des brûlures (Brachet et al.)	29
Tableau 8 : Os compact et spongieux, leurs caractéristiques (Orcel et de Vernejoul, 1995).....	32
Tableau 9 : Caractéristiques des ostéoclastes (Chenu et Delmas, 1994).	35
Tableau 10 : Caractéristiques des os longs, courts et plats.....	36
Tableau 11 : Les différents types de carbonisation (Beauthier et Mangin, 2007).	44
Tableau 12 : Degrés de carbonisation de la tête et des dents.	45
Tableau 13 : Protocoles d'examen et degrés de carbonisation (Georget et al., 2014)	46
Tableau 14 : Stades de fractures et leurs caractéristiques (Schmidt et Symes, 2015).....	47
Tableau 15 : Relevés des pics de température et modifications associées.....	51
Tableau 16 : Pics de température, leurs caractéristiques et pertes de masse (Miculescu et al. 2011)	52
Tableau 17 : Correspondance entre les pertes de masse et les températures chez l'os de porc (Onishi et al. 2008)	52
Tableau 18 : Caractéristiques des têtes durant chaque essai.	56
Tableau 19 : Temps de retrait des têtes à chaque essai.	60
Tableau 20 : Paramètres de l'étude à l'ATG	66
Tableau 21 : Caractéristiques des essais 1, 2 et 3 sur Tête 1	68
Tableau 22 : Caractéristiques des essais 1, 2 et 3 sur les Têtes 2a et 2b	70
Tableau 23 : Caractéristiques des essais 1, 2 et 3 sur les Têtes 3 et 4	73
Tableau 24 : Poids initial et % de masse finale ATG sous air, échantillons sains.....	78
Tableau 25 : Poids initial et % de masse finale ATG sous air, échantillons brûlés.....	79
Tableau 26 : Moyennes des températures d'initiation du Pic 2 (Zone I)	87
Tableau 27 : Température moyenne d'initiation du pic 2 (Zone I).....	88
Tableau 28 : Températures maximales reçues par les thermocouples durant les essais 1, 2 et 3.....	88
Tableau 29 : Relevé des pics de températures moyenne et écart-type par zone	89
Tableau 30 : Perte de masse en fonction de la température os sain et brûlé.....	90
Tableau 31 : Différences osseuses entre l'os humain et l'os animal (Quatrehomme, 2003) (Delannoy et al. 2014).	92
Tableau 32 : Perte de masse de l'os sain en fonction de la température.	95
Tableau 33 : Perte de masse en % en fonction de la température et les effets sur l'os	96

Les opinions émises dans les dissertations présentées doivent être considérées
comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ni improbation
de la Faculté de Chirurgie Dentaire.

DUJON Maud. Étude physico-chimique de la dégradation par le feu de l'os alvéolaire et basal : intérêt médico-légal. 2017.118 p. : ill., tabl. Biblio. : 102 – 107.

Sous la direction de M. le Docteur Steve TOUPENAY

Th : Chir Dent. : Paris 7 : 2017

RESUME : L'odontologie médico-légale est une discipline criminalistique qui connaît une évolution considérable. De par ses spécificités, l'organe dentaire est un élément incontournable dans l'identification. Il est entouré par l'os alvéolaire et basal composant la mâchoire qui est d'une grande vulnérabilité, alors que les dents qu'elle supporte sont d'une extrême pérennité. La carbonisation de l'os induit des changements de couleur, la présence de fractures ou de motifs de rupture. Ces modifications sont fonction de la température, de la durée d'exposition à la chaleur et de l'épaisseur des tissus mous recouvrant la surface osseuse. La problématique reste d'utiliser des indices biologiques comme indicateur médico-légal dans le cadre de carbonisation. Le but de cette étude est d'analyser et d'étudier le comportement physico-chimique de l'os alvéolaire et basal soumis aux rayonnements thermiques, à l'aide d'outils de caractérisation tels que l'analyseur thermogravimétrique. Pour ce faire, cette étude est réalisée en association avec la section d'ingénierie du Feu du Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris (LCP). Pour se faire 15 têtes de cochons ont été placées dans 3 feux distincts afin de pouvoir étudier leur dégradation. Les échantillons de prélèvements sont ensuite passés à ATG à des températures allant de 30 à 1 000 °C sous air et sous diazote. Les vitesses de perte de masse osseuse au cours des rayonnements thermiques sont relevées ainsi que les taux de chaleur absorbés et dégagés par l'os dans des conditions préalablement définies, l'objectif étant de montrer que l'os peut être l'un des éléments permettant de déterminer les paramètres et les conditions d'un incendie.

Physico-chemical study of the degradation by fire of alveolar and basal bone : Forensic interest.

RESUME en anglais : Forensic odontology is a rapidly evolving field, the tooth contains specific features which makes it essential when it comes to identifying bodies. The alveolar and basal bones are two very vulnerable components of the jaw, whereas the teeth they support show a great durability. Carbonizing a bone will lead to color changes and rupture patterns, or even fractures, can occur. These alterations will depend on the temperature, the time of exposure to the heat and the thickness of the soft tissues on the bone's surface. However, it remains difficult to use biological indices as forensics indicators in the context of a carbonization. The purpose of this study is to analyze the alveolar and basal bones physicochemical behavior when submitted to heat radiations, using characterization tools such as the TGA. The following study is carried out in association with the Paris Prefecture Police and their Central Laboratory's fire department. Fifteen pig's heads were placed in three distinct fires, enabling us to analyze their degradation. The collected samples were then put in the TGA under temperatures going from 30 to 1 000°C in an environment containing air and nitrogen. The loss mass of each bone was measured throughout the heat radiations, as were the amount of heat absorbed and released by the bone in previously defined conditions. The objective is to show that the bone can be one of the tools allowing us to determine the parameters and the conditions of a fire.

DISCIPLINE : ODONTOLOGIE MEDICO-LEGALE

MOTS-CLES Français : ODONTOLOGIE LEGALE/ OS ALVEOLAIRE/ HAUTES TEMPERATURES/ INCENDIES

MOTS-CLES Anglais : FORENSIC DENTISTRY/ ALVEOLAR BONE/ HOT TEMPERATURE/ FIRES
