

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية للبيطرة – الحراش – الجزائر
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE – ELHARRACH – ALGER

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE MAGISTRE EN SCIENCES VETERINAIRES
Option : Hygiène et sécurité alimentaire

Thème :

**MISE AU POINT D'UNE METHODE DE CONTRÔLE
DU NETTOYAGE ET DE LA DESINFECTION DANS L' ABATTOIR
DE VOLAILLES DE TABOUKERT (W. TIZI OUZOU) : EVALUATION
DE LA METHODE BIOLUMINESCENCE**

Présenté par :

Dr. BENSID Abdelkader

Jury :

Présidente :	Dr. Boukhors. K.T	Maître de conférences : E.N.V Alger.
Promoteur :	Dr. Bendeddouche. B	Maître de conférences : E.N.V Alger.
Examineur :	Dr. Hamdi. T.M	Maître de conférences : E.N.V Alger.
Examineur :	Dr. Harhoura. K	Chargé de cours : E.N.V Alger.
Examineur :	Dr. Tebbani. Y	Maître de conférences : U. de Batna.

Année universitaire 2007/2008

REMERCIEMENTS

Le premier servi dans ces remerciements est, bien entendu, le promoteur de ce mémoire, Docteur **Beneddouche Badis**, pour m'avoir proposé ce sujet de recherche, et, pour tout son dynamisme et ses compétences scientifiques qui m'ont permis de mener à bien cette étude.

Je remercie Mademoiselle **Boukhors K T**, maître de conférences à l' ENV d'Alger, pour avoir accepté d'assurer la présidence de mon jury.

Je remercie tous particulièrement Monsieur **Hamdi TM**, maître de conférences à l' ENV d'Alger, Monsieur **Harhoura K**, Chargé de cours à l'ENV d'Alger, ainsi que Monsieur **Tebbani Y**, maître de conférences à l'université de Setif, qui ont accepté de juger ce travail et d'en être les examinateurs.

Mes remerciements s'adressent aussi, à Monsieur **Guezlane Elouardi**, Directeur de l'ECOLE NATIONALE VETERINAIRE D'ALGER et à Monsieur **Souames S**, sous directeur de la post-graduation pour leurs soutiens et la mise à disposition des outils académiques permettant d'effectuer les études de magistère dans de bonnes conditions.

Je tiens aussi à remercier Docteur **Regguem B** pour son aide précieuse : merci beaucoup.

Ce mémoire a été réalisé au sein de l'abattoir de volailles Taboukert de la wilaya de TIZI-OUZOU. Je tiens à remercier son directeur, ses responsables de laboratoire : Mme **Chetouani**, Mme Djamila, ses deux vétérinaires et ses agents chargés de nettoyage : **Hamid et Nasser**.

J'adresse également mes remerciements à Monsieur le professeur **Salvat Gille**, Monsieur **Brice Minvielle** et Monsieur le professeur **Alloui Nadir** qui ont pu m'apporter une aide dans mes recherches.

Je remercie ensuite, mes parents, mon épouse pour son soutien quotidien, ma fille Djinane, mes frères, mes beaux-parents, mes belles-sœurs, mes beaux-frères et **Fateh** pour leur appui moral.

Je souhaite remercier mes amis pour leurs encouragements.

Toutes mes reconnaissances pour ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, ainsi que ceux qui prendront la peine de le juger.

*À la mémoire de mon grand-père,
À ma grand-mère : Oum Elkheir,*

LISTE DES ABREVIATIONS

ADIV :	Association pour le Développement de l'Institut de la Viande
AFNOR :	Association Française de Normalisation
AMP :	Adénosine monophosphate
ATP :	Adénosine triphosphate
C (%) :	Concentration
CCP :	Critical Control Point
CE :	Communauté européenne
CEE :	Communauté économique européenne
CFU :	Colony-forming units
cm :	centimètres
cm² :	centimètres carré
CO₂ :	dioxyde de carbone
°F :	Degrés français
g :	grammes
h :	heures
HACCP:	Hazard Analysis Critical Control Point
ISO :	International Organization for Standardization
L :	Litres
Log :	Logarithme
m³ :	mètres cube
Mg :	Magnésium
ml :	millilitres
mm :	millimètres
NF :	Norme française
ORAC :	Office Régionale Avicole du Centre
PAQ :	Produits à ammonium quaternaire
P.P :	Pyrophosphate
PCA :	Plate Count Agar
pH :	Potentiel hydrogène
PVC :	polychlorure de vinyle
RLU :	Relative Light Unit
RODAC :	Replicate Organism Detection and Counting
T (°C) :	Température en degré Celsius
T (minutes) :	Temps en minutes
TH :	Titre Hydrotimétrique
TSE :	Tryptone Sel Eau
UFC :	Unités Formant Colonies
um :	Micromètres
URL :	Unités Relatives de Lumière

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau 1 : Efficacité du nettoyage en fonction ou selon la nature de la surface	5
Tableau 2 : Classification de l'eau en fonction de sa dureté	14
Tableau 3 : Propriété des souillures	16
Tableau 4 : Maîtrise de l'hygiène des surfaces selon les démarches HACCP	38
Tableau 5 : Résultats du dénombrement de la flore totale des dix sites testés	62
Tableau 6 : Résultats des mesures d'ATPmétrie des dix sites testés	63
Tableau 7 : Résultats des mesures d'ATPmétrie et de dénombrement de la flore totale obtenus à partir des dix sites testés	64
Tableau 8 : Résultats des analyses microbiologiques de l'eau	65
Tableau 9 : Formation et sensibilisation du personnel	66
Tableau 10 : Conditions d'application du produit de nettoyage	68
Tableau 11 : Critères d'interprétation microbiologique fixés par la réglementation française : note de service n°2007-8275 du 14 novembre 2007	70
Tableau 12 : Seuil d'acceptabilité des URL	71
Tableau 13 : Spectre d'activité des principales familles des désinfectants	91
Tableau 14 : Liste des normes d'évaluation de l'activité des antiseptiques et des désinfectants	91
Tableau 15 : Les principales techniques d'évaluation de la contamination aéroportée ...	92
Tableau 16 : Grille d'observation des procédures de nettoyage-désinfection	94

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Processus de formation du biofilm.....	30
Figure 2 : ATPmètre « LUMITESTER PD-10 » et un écouvillon « Lucipac W »	52
Figure 3 : Technique de prélèvements sur les dix surfaces choisies	55
Figure 4 : Protocole d'analyses microbiologiques et d'ATPmétrie effectuées	56
Figure 5 : Valeur affichée sur ATPmètre exprimée en URL	58
Figure 6 : Relation entre la teneur en ATP et le niveau de la flore totale appliquée à l'ensemble des prélèvements issus des deux méthodes	61
Figure 7 : Répartition des valeurs moyennes déterminées par le dénombrement de la flore totale des dix sites testés	62
Figure 8 : Répartition des valeurs moyennes déterminées par les mesures d'ATP des dix sites testés	63
Figure 9 : Bac d'échaudage : vue intérieure	67
Figure 10 : Paniers transporteurs de carcasses pendant la production	67
Figure 11 : Plumeuse : vue intérieure	67
Figure 12 : Nature des revêtements des murs et du sol	69
Figure 13 : Glissière pour carcasses (brillante et bien polie)	75
Figure 14 : Etat des doigts plumeurs avant changement	76
Figure 15 : Paroi du bac d'échaudage encrassée par des souillures organo-minérales	77
Figure 16 : Cuillère d'éviscéreuse corrodée	78
Figure 17 : Bande transporteuse de carcasses avec des fissures sur la totalité de la surface	79
Figure 18 : Déposition des souillures sèches sur les surfaces des paniers	80
Figure 19 : Abattage de volailles, diagramme de la préparation	90
Figure 20 : Gabarits utilisés pour les prélèvements sur les dix surfaces choisies	93

TABLE DES MATIERES

	Pages
Introduction	1
 PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
1. LE NETTOYAGE ET LA DESINFECTION EN ABATTOIR DE VOLAILLES	2
1.1. Le nettoyage	2
1.1.1. Les souillures	2
1.1.1.1. Principaux types de souillures	2
1.1.1.2. Conséquences	3
1.1.1.3. Relations souillures-support	3
1.1.2. L'élimination des souillures	5
1.1.2.1. Les produits de nettoyage « Les détergents »	6
1.1.2.1.1. Les molécules détergentes	6
1.1.2.1.2. Produits formulés : intérêt	9
1.1.2.1.3. Les constituants des détergents	9
1.1.2.1.4. Règles à respecter pour l'utilisation des détergents	12
1.1.2.2. L'eau : dureté et pH	13
1.1.2.3. Les moyens mécaniques	15
1.1.2.4. Facteurs d'efficacité	15
1.1.2.4.1. Choix du détergent approprié	15
1.1.2.4.2. Etat des matériels et des locaux	15
1.1.2.4.3. Caractère de la souillure	16
1.1.2.4.4. Paramètres influençant la cinétique du détergent	17
1.2. La désinfection	19
1.2.1. Le microbisme en abattoir de volailles : sources des contaminations	
Microbiennes	19
1.2.1.1. Micro-organismes présents sur les carcasses de volailles	20
1.2.1.2. Eau	21
1.2.1.3. Air	22
1.2.1.4. Equipements et matériels utilisés	22
1.2.1.5. Personnel	22
1.2.2. L'élimination des micro-organismes	23

1.2.2.1. Les produits de désinfection	23
1.2.2.2. Les molécules désinfectantes	23
1.2.2.3. Produits formulés	25
1.2.2.4. Règles à respecter pour l'utilisation des désinfectants	25
1.2.2.5. Désinfection par la chaleur	25
1.2.2.6. Facteurs d'efficacité	26
1.2.2.6.1. Choix du désinfectant	26
1.2.2.6.2. Paramètres influençant la cinétique du désinfectant	26
1.2.2.6.3. Facteurs humains	28
1.2.3. Limites de la désinfection	28
1.2.3.1. Accoutumance aux agents de désinfection	28
1.2.3.2. Les biofilms	29
1.3. Les différentes phases du nettoyage et de la désinfection	
en abattoir de volailles	31
1.3.1. Phase préliminaire : rangement et déblayage	31
1.3.2. Phase de nettoyage	32
1.3.2.1. Nettoyage mécanique ou prédécapage	32
1.3.2.2. Détergence	33
1.3.3. Rinçage intermédiaire	33
1.3.4. Désinfection	34
1.3.5. Rinçage du désinfectant	35
2. ORGANISATION DES OPERATIONS DE NETTOYAGE ET DE LA DESINFECTION	
DANS UN ABATTOIR DE VOLAILLES	35
2.1. Aspects législatifs et réglementaires	35
2.2. La démarche HACCP	36
2.2.1. Principes de la méthode HACCP	37
2.2.2. Maîtrise de l'hygiène des surfaces suivant la démarche HACCP	38
2.3. Organisation des opérations de nettoyage et de désinfection	
dans l'abattoir de volailles	39
2.3.1. Notion de zones à risque	39
2.3.2. Fréquence des opérations	40
2.4. Choix de l'équipe de nettoyage et désinfection	42
3. CONTROLE DES OPERATIONS DE NETTOYAGE ET DE DESINFECTION	43
3.1. Contrôle de la réalisation des opérations de nettoyage et de désinfection	43
3.2. Le contrôle visuel de l'état de propreté des locaux et du matériel	43

3.3. Appréciation de l'état de propreté par ATPmétrie	43
3.3.1. Principes	43
3.3.2. Intérêt	44
3.3.3. Limites	44
3.4. Contrôles microbiologiques	45
3.4.1. Appréciation de la contamination du matériel et des surfaces	45
3.4.2. Évaluation de la contamination aéroportée	46
3.4.3. Recherche quantitative	46
3.4.3.1. Méthodes directes	46
3.4.3.2. Méthodes estimatives	48
3.4.3.3. Interprétation des résultats du contrôle microbiologique	49
 PARTIE EXPERIMENTALE	
OBJECTIFS	50
1. MATERIEL ET METHODES	51
1.1. Présentation et choix de l'abattoir	51
1.2. Matériel et méthodes d'échantillonnage	51
1.2.1. Matériels d'analyses	51
1.2.1.1. Matériels d'analyses microbiologiques pour le dénombrement de la flore totale..	51
1.2.1.2. Matériels d'analyses ATPmétriques	52
1.2.2. Sites et nombre de prélèvements effectués	53
1.2.3. Mode de prélèvement des échantillons	53
1.3. Techniques analytiques pour le contrôle de la conformité	
du nettoyage-désinfection	56
1.3.1. Préparations des échantillons	57
1.3.2. Dénombrement de la flore totale par écouvillonnage	57
1.3.3. Mesure de l'ATP résiduelle	58
1.4. Collecte de données sur les procédures de nettoyage-désinfection mises en oeuvre ..	58
1.4.1. Observation directe des procédures de nettoyage-désinfection	59
1.4.2. Les entretiens individuels directs	59
1.4.3. La compulsion des documents	59
1.5. Analyse statistique des données	59
2. RESULTATS	61
2.1. Relation entre l'ATPmétrie et le dénombrement de la flore totale	61
2.2. Appréciation de la conformité du nettoyage et de la désinfection	62
2.2.1. Résultats du dénombrement de la flore totale	62
2.2.2. Résultats des analyses ATPmétriques	63

2.2.3. Récapitulatif	64
2.3. Résultats des analyses microbiologiques et de la dureté de l'eau	65
2.4. Résultats de l'audit d'hygiène de l'abattoir	65
2.4.1. Le personnel chargé du nettoyage et de la désinfection	65
2.4.2. Matériel, eau et produits de nettoyage	66
2.4.3. Fréquence du nettoyage-désinfection	67
2.4.4. Conception et état des surfaces de travail et d'équipements	67
2.4.5. Technique de nettoyage et de désinfection	68
2.4.6. Caractéristiques des locaux : encombrement et nature des revêtements	68
2.4.7. Fréquence du contrôle microbiologique des surfaces	69
2.5. Interprétation	69
2.5.1. Relation entre l'ATPmétrie et le dénombrement de la flore totale	69
2.5.2. Dénombrement de la flore totale	69
2.5.3. Analyses d'ATPmétrie	70
2.5.4. Analyses microbiologiques mesure et de la dureté de l'eau	72
3. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS	73
3.1. Comparaison des indicateurs: flore totale et ATP	73
3.2. Appréciation de la conformité du nettoyage et de la désinfection	74
3.3. Choix d'une méthode de contrôle	81
3.4. Analyse et recommandations sur les procédures de nettoyage-désinfection	
 mises en œuvre	82
3.4.1. Le personnel chargé du nettoyage et de la désinfection	82
3.4.1.1. Formation et qualification	82
3.4.1.2. Effectif	82
3.4.1.3. Protection	82
3.4.2. Matériel, eau et produits de nettoyage	83
3.4.3. Fréquence du nettoyage-désinfection	84
3.4.4. Conception et état des surfaces de travail et d'équipements	84
3.4.5. Technique de nettoyage et de désinfection	85
3.4.5.1. Protocole de nettoyage-désinfection	85
3.4.5.2. Mode d'élimination des souillures	85
3.4.5.3. Mode d'application des produits, dose, temps d'action et température	86
3.4.5.4. Mode d'application de l'eau de pré-lavage et de rinçage	87
3.4.6. Caractéristiques des locaux : encombrement et nature des revêtements	87
3.4.7. Fréquence du contrôle microbiologique des surfaces	88
CONCLUSION	89
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	90
ANNEXES	100

INTRODUCTION

La qualité microbiologique des denrées alimentaires d'origine animale est un enjeu très important, tant sur le plan de la santé publique que sur le plan économique. En effet, la contamination par des micro-organismes pathogènes peut être à l'origine de toxi-infections alimentaires collectives. Dans notre pays, 1700 cas d'intoxication ont été enregistrés durant le premier semestre 2007, dont 34% liés à la consommation de viandes et dérivés [9].

La contamination des viandes de volailles est causée généralement par la technique d'abattage, la contamination croisée des carcasses à l'abattoir, mais également lors de la transformation, ou de la distribution.

En effet, l'abattage est parmi les principaux facteurs déterminant la contamination du produit final. Pour fournir un produit sain et conservable, un certain nombre de règles d'hygiène doivent être respectées, parmi celles-ci le nettoyage et la désinfection. Les opérations de nettoyage et de désinfection doivent faire partie intégrante du processus de fabrication des produits alimentaires permettant aux industriels d'optimiser leurs activités de production, et leur efficacité doit être surveillée et validée en permanence.

La maîtrise des procédés de fabrication dans un abattoir de volailles exige une rigueur croissante pour fournir une matière première de bonne qualité microbiologique et organoleptique, ceci passe par le contrôle de l'hygiène des manipulations et du personnel, de l'état de propreté des locaux et des équipements et de l'application des opérations de nettoyage-désinfection.

Actuellement, le contrôle de ces opérations est basé sur des méthodes classiques de croissance des micro-organismes qui nécessitent typiquement 48 heures ou plus pour obtenir des résultats. L'ATPmétrie est l'une des rares méthodes de contrôle qui permet l'obtention d'un résultat assez précis en quelques minutes et la mise en oeuvre des actions correctives dans les délais les plus brefs.

Notre étude se propose de réaliser une analyse comparative entre deux méthodes de contrôle et de surveillance de l'hygiène des surfaces des équipements dans un abattoir de volailles : la méthode microbiologique par écouvillonnage et la méthode d'ATPmétrie, et d'émettre un avis sur l'utilisation en routine de la méthode d'ATPmétrie.

Enfin, ce travail va permettre de proposer un protocole ainsi qu'une série de recommandations en rapport avec les procédures liées au nettoyage et à la désinfection au niveau d'un abattoir de volailles.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

1. LE NETTOYAGE ET LA DESINFECTION EN ABATTOIR DE VOLAILLES

1.1. Le nettoyage

Le nettoyage constitue la première partie d'un cycle au cours duquel il est associé nécessairement à la désinfection. Il consiste à éliminer d'une surface donnée, toute souillure visible ou invisible pouvant s'y trouver. Ceci est réalisé par la détergence, processus selon lequel, des salissures sont détachées de leur substrat et mises en solution ou en dispersion, et qui est la résultante de plusieurs phénomènes physicochimiques, aidés par certaines réactions chimiques et survenant aux interfaces de trois phases : support/souillure/détergent [108].

1.1.1. Les souillures

1.1.1.1. Principaux types de souillures

Les souillures susceptibles d'être rencontrées dans un abattoir peuvent être distinguées en deux catégories : les souillures organiques et les souillures minérales.

- **Les souillures organiques**

Les souillures organiques sont généralement de composition complexe, incluant des lipides, des protides et des glucides. Les souillures rencontrées dans un abattoir de volailles peuvent cependant être classées en fonction de leur constituant dominant :

- Les souillures à dominante lipidique proviennent en général du gras des carcasses. Leur composition influence leur température de fusion et donc la facilité de les nettoyer à l'eau chaude. Elles sont neutres ou légèrement acides et forment des savons en présence de bases, qui les solubilisent [19, 82].

- Les souillures à dominante protéique sont habituellement solubles dans l'eau. Leur structure et leurs propriétés peuvent être considérablement modifiées sous l'effet de la chaleur, de l'acidité ou de divers agents chimiques, qui provoquent la coagulation de ces protéines et conduisent de façon irréversible à leur dénaturation. Les souillures séchées ou cuites (sous l'action d'une eau de nettoyage trop chaude) sont beaucoup plus difficiles à nettoyer que les souillures organiques fraîches : mieux vaut donc nettoyer le plus rapidement possible après l'arrêt du travail ou du matériel. Cet aspect est à prendre en compte pour toutes les surfaces souillées par le sang [19].

Les souillures organiques peuvent être de taille importante : plumes, morceaux de carcasse tombés sur le sol, matières stercoraires, etc. Cependant, ces gros déchets ne posent pas de problèmes particuliers puisqu'ils sont facilement éliminés [82].

- **Les souillures minérales**

Les souillures minérales rencontrées en abattoir sont le plus souvent issues de l'eau utilisée dans les processus de fabrication qui peut laisser des dépôts de tartre [82].

En effet l'eau potable n'est pas pure ; elle contient un grand nombre de sels minéraux, en particulier du calcium. Elle contient aussi du CO₂ dissous sous forme d'acide carbonique dissocié en milieu acide sous forme d'ions hydrogénocarbonate, HCO₃⁻. Le tartre provient de la réaction qui se produit en milieu acide et à haute température, de l'ordre de 100°C, entre les ions Ca⁺⁺ et l'hydrogénocarbonate. La réaction est irréversible et il est possible en milieu acide d'obtenir la dissociation du complexe [83, 19].

Certains dépôts minéraux peuvent correspondre à des constituants des détergents eux-mêmes : à ce titre, les sels minéraux solubles provoquent des tartres très adhérents quand ils sont utilisés avec une eau dure, qui ne s'éliminent pas avec les acides courants et laissent un film de silice [83].

1.1.1.2. Conséquences

Les dépôts minéraux produisent essentiellement des dommages mécaniques, par réduction du diamètre des canalisations et provoquent, dans les parties en mouvement, des frottements supplémentaires augmentant la consommation d'énergie et pouvant amener le bris de certaines pièces. La présence de tout dépôt minéral favorise l'accrochage des souillures organiques et la formation de biofilms [84].

Quant aux souillures organiques, elles jouent un rôle plus insidieux ; les conséquences de leur présence sont principalement d'ordre sanitaire et hygiénique. Elles constituent en effet le refuge de nombreux micro-organismes, dont la présence peut conduire à une contamination du produit [19].

1.1.1.3. Relations souillures-support

L'adhérence des impuretés aux surfaces fait intervenir des forces très diverses. En premier lieu on peut citer la pesanteur qui fait adhérer les impuretés aux surfaces horizontales ; en second lieu, on retrouve la pénétration et l'incrustation des impuretés de toutes sortes dans les rainures, fentes, joints et sites de corrosion [39]. Enfin on observe fréquemment un phénomène

d'adsorption d'impuretés sur les surfaces selon un processus d'équilibrage des charges électrostatiques [74].

Il résulte de ces diverses interactions une tension interfaciale responsable de l'adhésion des souillures, dont la force dépend de différents facteurs qu'il est possible de diviser en trois groupes :

- Facteurs liés à la souillure

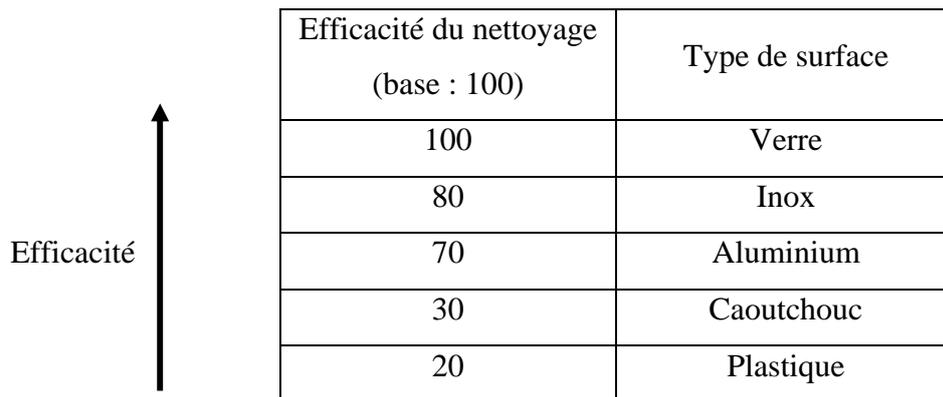
L'adhésion de la souillure sur le support dépend tout d'abord des caractères physico-chimiques de cette souillure, notamment de la charge qu'elle porte à sa surface. C'est pourquoi les souillures anciennes, en particulier lorsqu'elles ont subi un certain degré de déshydratation, adhèrent généralement plus au support [74].

Le degré d'adhérence dépend également de la forme et de la taille des impuretés. En effet, les souillures de petite taille, qui sont susceptibles de s'infiltrer dans les anfractuosités du support, seront plus difficiles à éliminer que les souillures de plus grande taille, qui restent en surface [91].

- Facteurs liés au support

L'influence du support lui-même dépend essentiellement de ses caractères physiques et structuraux (tableau 1).

Les principaux caractères physiques concernés sont la charge et la mouillabilité. En ce qui concerne la charge, il apparaît que les particules chargées négativement présentent plus d'affinité pour les surfaces chargées positivement ou neutres, telles que l'acier inoxydable, le polystyrène ou le polypropylène. En revanche, elles sont moins affines pour les surfaces à charge négative nette, telles que le verre ou diverses matières plastiques. La mouillabilité, quant à elle, exprime la facilité avec laquelle un liquide peut s'étaler sur une surface. Cette notion permet par exemple de distinguer des surfaces hydrophiles, telles que le verre ou les aciers, et les surfaces hydrophobes, telles que les matières plastiques. Les produits alimentaires riches en eau adhèrent plus facilement aux premières qu'aux secondes [24, 25].

Tableau 1: Efficacité du nettoyage en fonction ou selon la nature de la surface [13].


Efficacité du nettoyage (base : 100)	Type de surface
100	Verre
80	Inox
70	Aluminium
30	Caoutchouc
20	Plastique

Les caractères structuraux se rapportent essentiellement à l'état de la surface du support. En effet, les reliefs macroscopiques ou microscopiques, tels que les crevasses, les rayures et les aspérités peuvent servir de refuge aux souillures et favorisent leur adsorption [74]. L'adhérence est donc plus facile sur les surfaces rugueuses et poreuses, notamment le bois, interdit en industrie alimentaire, mais aussi les matières plastiques lorsqu'elles sont profondément rayées, et les métaux usagés ou corrodés [91, 24].

- Facteurs liés au milieu de suspension

La formation de dépôts dépend fortement du mouvement du milieu de transport, en particulier de la turbulence dans le cas de produits liquides. Une forte turbulence rend plus difficile l'adhérence des souillures au support [39].

L'étude des caractères des souillures et de leurs relations avec le support permet de comprendre le mode d'action des moyens disponibles pour les éliminer, moyens que nous allons maintenant envisager.

1.1.2. L'élimination des souillures

D'un point de vue général, les moyens mis en œuvre pour éliminer les souillures doivent permettre, dans un premier temps, de détacher la souillure du substrat, dans un second temps d'empêcher qu'elle s'y redépose. Pour cela s'impose le recours à trois éléments parfaitement synergiques : des détergents, de l'eau et des actions mécaniques.

Après avoir décrit les caractères et les modes d'action de ces éléments, nous aborderons les facteurs qui déterminent leur efficacité.

1.1.2.1. Les produits de nettoyage « Les détergents » :

Ce sont des substances qui enlèvent les souillures par des actions physico-chimiques. Leur mode d'actions se décompose en trois phases; le mouillage, le décollement de la souillure et le maintien de la souillure à l'écart de la surface à nettoyer [82].

1.1.2.1.1. Les molécules détergentes

Les produits de base utilisés dans la composition du détergent sont de trois types : les bases, les acides et les enzymes.

- Les composants alcalins

- L'hydroxyde de sodium ou soude caustique (Na OH)

C'est le principal composant des détergents alcalins forts intéressant pour son prix et son action agressive vis-à-vis des dépôts organiques. La soude caustique possède plusieurs caractéristiques intéressantes, dont la principale est la saponification des graisses à température élevée : c'est un bon dégraissant [108].

Elle solubilise les protéines, apporte la causticité, ainsi qu'une réserve importante d'alcalinité. La soude caustique possède un pouvoir moussant. Mais, utilisée seule, elle n'a pas de pouvoir séquestrant. Son pouvoir hydrolysant est bon. Elle a aussi la propriété de précipiter les sels de dureté de l'eau [108].

Une solution de 1% donne un pH de 13 et son emploi ne peut pas être généralisé à tous les matériaux. Elle ne peut pas être utilisée sur l'aluminium, le laiton et autres métaux légers et on fait donc appel à d'autres composés (carbonates, silicates). Sa manipulation doit faire l'objet de précautions [88].

- L'hydroxyde de potassium ou potasse (KOH)

Il s'agit d'un produit deux fois plus détergent et caustique que la soude.

En effet, la potasse attaque le verre, la porcelaine, et la plupart des matériaux (aluminium, zinc). Cependant elle n'attaque pas l'acier inoxydable [108].

Elle est très dangereuse à manipuler et est bien moins utilisée que la soude pour deux raisons : un prix plus élevé, un poids moléculaire plus important, donc plus de produit pour une basicité identique [88].

- Le carbonate de sodium (Na_2CO_3) [108]

Son alcalinité est faible donc rapidement saturée à la saponification : c'est donc un produit peu intéressant, cent fois moins efficace que la soude. Son rinçage est facile, car sa solubilité est bonne. C'est un produit stable qui présente un pH de 11.4 à la concentration de 1%.

Il permet de formuler des détergents moyennement alcalins (pour aluminium et alliages légers par exemple). Il adoucit l'eau par précipitation des ions responsables de la dureté et améliore l'efficacité du nettoyage.

- Les phosphates

Ils présentent d'excellentes propriétés détergentes et complexantes, cependant à chaud, ils subissent une hydrolyse qui les transforme rapidement en orthophosphates [88].

Actuellement, les polyphosphates les plus courants sont le pyrophosphate de sodium ($\text{P}_2\text{O}_7\text{Na}_4$) et le tripolyphosphate de sodium ($\text{P}_3\text{O}_{10}\text{Na}_5$) [88].

Le tripolyphosphate possède un ensemble de propriétés intéressantes [108] :

- élimination de la dureté de l'eau par séquestration ;
- permet de diminuer la quantité d'agent de surface ;
- améliore la propriété de mouiller les surfaces et les souillures ;
- améliore l'émulsification et la dispersion des souillures ;
- évite la redéposition des souillures ;
- contrôle l'alcalinité (effet tampon).

Cependant l'inconvénient majeur de ce produit est le phénomène d'eutrophisation des eaux stagnantes, ce qui permet un développement important de végétaux aquatiques par enrichissement artificiel de l'eau en matières nutritives [21].

- Les composants acides

Les acides hydrolysent les sucres (glucides) et dissolvent les matières minérales (tartre). Ils possèdent donc une action désincrustante. Ce sont des détartrants.

- L'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide sulfurique (H_2SO_4) [97]

Ces produits sont utilisés à froid. Ils possèdent une forte action corrosive, y compris sur l'acier inoxydable de qualité. Ils sont donc peu employés.

- L'acide nitrique (HNO₃) [97]

L'acide nitrique est corrosif sur les aciers inoxydables aimantables, mais ne l'est pas sur l'aluminium. Sur l'acier inoxydable, il élimine rapidement les concrétions minérales. Malheureusement, à l'état concentré il détruit par oxydation les tensioactifs.

- L'acide phosphorique (H₂PO₃) [97]

Il est aussi appelé acide orthophosphorique. Ce produit est couramment employé. Pur, c'est un produit cristallisé, incolore, très déliquescent. Dans les opérations de nettoyage-désinfection il est employé dilué. Il s'agit à l'heure actuelle de l'acide usuel le plus utilisé comme désincrustant, détartrant.

L'acide phosphorique concentré (85% d'acide) attaque la plupart des métaux avec libération d'hydrogène. Les métaux ferreux, le zinc et l'aluminium sont vulnérables. Néanmoins, il n'attaque pas la plupart des aciers inoxydables, même à une température élevée, mais toutefois inférieure à 100°C. Il n'attaque pas le caoutchouc (à 4% et à 95°C). Cependant, même dilué il attaque l'aluminium.

- Autres acides utilisés :

Acide acétique, acide lactique, acide citrique, acide tartrique, acide sulfamique, acide alkylsulfonique, etc.

- Les enzymes,

Les détergents enzymatiques sont nouveaux dans le cadre des opérations de nettoyage et de désinfection [97,62].

Ce sont des protéines naturelles produites par toutes les cellules vivantes. Elles agissent en tant que biocatalyseurs et peuvent permettre des réactions très spécifiques dans des conditions douces. En agroalimentaire, on utilise surtout les protéases et les lipases [108]. Les premières agissent seulement sur les souillures protéiniques telles que les œufs, le sang [107], alors que les secondes dégradent spécifiquement les huiles et les graisses [54].

Les performances de ces enzymes dépendent de différents facteurs : pH, température, teneur en calcium et magnésium, dont il faudra tenir compte lors de leur formulation [108].

Ce sont des produits naturels, ce qui n'exclut pas qu'ils peuvent être dangereux. Ils permettent un meilleur fonctionnement des stations d'épuration car ils sont naturellement biodégradables et ne présentent pas de phénomènes de corrosion des métaux. On fonde de grands espoirs dans leur aptitude à attaquer le biofilm [77, 62].

Leur coût est élevé. Par ailleurs, il ne faut pas inhaler les enzymes car elles s'attaquent aussi à l'organisme. Il convient de les utiliser sous la forme liquide. Leur conservation en phase aqueuse est mauvaise; leur stockage est donc difficile. Leur activité est certaine à des températures tièdes ou chaudes (20-55°C), d'où la difficulté d'emploi dans les enceintes froides. Le temps d'action est assez long et en rapport direct avec la température et la concentration. Enfin, certaines enzymes s'autodétruisent, ce qui pose des problèmes de mélange et de formulation [62].

1.1.2.1.2. Produits formulés : intérêt

Il apparaît que si les détergents présentent chacun des propriétés intéressantes, il n'existe pas de substance universelle, capable à la fois de détacher toutes les souillures de la surface traitée et de les solubiliser. Par ailleurs, l'efficacité de ces produits est parfois contrebalancée par des effets néfastes, toxiques ou corrosifs. Toutes ces raisons imposent le plus souvent d'avoir recours à une association de détergents, et à d'autres composés qui en renforcent l'efficacité et en limitent les effets néfastes, tels que des inhibiteurs de corrosion, des agents anti-mousse, des agents chélatants qui, en complexant les ions, évitent la précipitation des sels minéraux lors d'utilisation d'eau de mauvaise qualité [88].

Ce détergent formulé doit donc présenter certains caractères particuliers, notamment être soluble dans l'eau, être peu toxique et peu corrosif, être stable aux températures appliquées au cours du nettoyage. Ses constituants ne doivent pas être antagonistes [39].

Il doit enfin pouvoir facilement être éliminé lors du rinçage, qui doit suivre le nettoyage de façon inéluctable afin de faire disparaître toute trace du détergent et des souillures qui s'y trouvent en suspension.

1.1.2.1.3. Les constituants des détergents

La composition du détergent est complexe mais présente toujours un squelette de base alcalin ou acide, représentant au moins 8% du poids total. On trouve également dans la formulation du produit, des séquestrants, des inhibiteurs de corrosion, des tensioactifs, des stabilisants, des silicones contre l'effet moussant et d'autres composants divers (colorants, parfums, etc.).

- Les séquestrants [108]

Ce sont des composés organiques multifonctionnels qui ont la propriété de fixer les ions alcalino-terreux (responsables de la dureté de l'eau) et les métaux, évitant ainsi la précipitation ou leur déposition sur les surfaces.

Pour un métal donné, chaque agent séquestrant a une plage de pH optimale correspondant à un pouvoir séquestrant maximum.

Les séquestrants les plus utilisés sont:

- le pyrophosphate de sodium ;
- le tripolyphosphate de sodium ;
- l'hexamétaphosphate ;
- les dérivés iodés de l'acide gluconique et glucoheptonique ;
- l'éthylène diamine tétracétique (EDTA); il a un rendement optimum en milieu légèrement alcalin.

- Les inhibiteurs de corrosion: sels minéraux solubles [51]

Les sels minéraux solubles sont chers, mais donnent de bons résultats. Ils sont saponifiants, très alcalins, l'orthosilicate l'étant plus que le métasilicate. Ces produits sont doués de propriétés antiredéposition. Ils sont utilisés comme agents inhibiteurs de corrosion en milieu alcalin vis à vis des métaux tels que l'aluminium. Ce sont des stabilisateurs de pH.

Les silicates de sodium présentent pourtant un inconvénient majeur: quand ils sont utilisés avec une eau dure, ils provoquent des tartres très adhérents, qui ne s'élimine pas avec les acides courants et laissent souvent un film de silice.

- Les tensioactifs

Les tensioactifs ont la particularité de posséder une partie lipophile et une partie hydrophile. De ce fait, ils assurent la liaison entre les souillures grasses et l'eau dans laquelle ces dernières sont émulsionnées. Ils ont une action purement physique et permettent la formation de micelles. Les tensioactifs vont donc modifier les forces existantes à la zone de contact de corps sous deux états physiques ou phases différentes [97].

En matière de classification, on distingue couramment les anioniques, les cationiques, les ampholytes et les non ioniques :

- les anioniques [88]

Ce sont surtout les tensio-actifs anioniques qui sont utilisés en raison de leurs propriétés détergentes excellentes. Ils se dissocient en cation inactif et en anion hydrophile. Il en existe actuellement une multitude et leur nombre ne cesse de croître.

Les anioniques sont plus au moins sensibles aux eaux dures, sont solubles à des pH neutres à très alcalins et en milieu concentré. Par contre on leur reproche de mousser abondamment.

Les produits les plus utilisés sont les alcools gras sulfatés, les dodécylbenzène sulfonates, les alkylaurylsulfonates alcalins, les alkylsulfonates ou le laurylsulfonate de sodium.

- les cationiques [88]

Les tensioactifs cationiques sont peu utilisés. Ils précipitent avec les tensioactifs anioniques et sont souvent inactivés par les eaux dures et utilisés comme désinfectants sélectifs. Ils sont constitués notamment par les ammoniums quaternaires qui, facilement adsorbés à la surface des bactéries, sont à la fois germicides, détersifs et émulsifiants.

- Les ampholytes (ammoniums quaternaires non ioniques) [88]

Les ampholytes sont encore moins utilisés. Ils se comportent en milieu alcalin comme des anioniques et en milieu acide comme des cationiques.

Ce sont des détergents qui possèdent un large spectre désinfectant antibactérien et antifongique. Ils possèdent un bon pouvoir moussant et un bon pouvoir mouillant, ce qui peut être à l'origine de difficultés dans le rinçage. Leur pouvoir rémanent est bon. Ils sont stables à la chaleur si la température n'excède pas 120°C.

- Les non ioniques

Ces produits ne s'ionisent pas en solution aqueuse, leur solubilité dans l'eau est due à la présence de groupements fonctionnels hydrophiles. Les tensioactifs non ioniques sont généralement stables en milieu acide ou basique [97].

La solubilité des non ioniques diminue lorsqu'on augmente la température. Alors qu'ils donnent à froid des solutions limpides, elles se troublent à partir d'une certaine température appelée « point de trouble », à laquelle les non ioniques possèdent un pouvoir moussant minimum et un

pouvoir détergent maximum. En dessous de cette température, tout en restant efficaces, ils moussent beaucoup. Au-delà de cette température, ils ont tendance à s'insolubiliser et à relarguer, ils deviennent alors inopérants [88].

Il est possible de mélanger les anioniques et les non ioniques, ou encore les cationiques et les non ioniques. Mais il ne faut surtout pas mélanger les anioniques et les cationiques.

Dans un ordre décroissant d'efficacité on trouve les anioniques, puis les non ioniques, puis les cationiques et enfin les ampholytes [108].

- Les silicones: anti-mousse

Les silicones modifient la tension superficielle à l'interface liquide-gaz en l'augmentant et en faisant, en particulier, tomber la mousse par séparation de la phase liquide et de la phase gazeuse. Les silicones sont des produits synthétiques [51, 39].

1.1.2.1.4. Règles à respecter pour l'utilisation des détergents

L'utilisation des détergents doit obéir à certaines règles :

- Compatibilité avec les denrées alimentaires

Quand on utilise un détergent, il ne faut jamais oublier que ce produit peut affecter les qualités des denrées [51]. Même conformes à la réglementation [32], les détergents ne sont pas dépourvus de toxicité; leurs résidus peuvent aussi perturber la transformation éventuelle des viandes [51].

Dans l'utilisation, il y a toujours un contrôle de la séquence de rinçage pour s'assurer de leur totale élimination.

- Sécurité du personnel

Les produits de nettoyage sont des produits dangereux, toxiques, pour lesquels il faut prendre des précautions au niveau du stockage et de leur manipulation. On arrive à une automatisation des procédés d'utilisation des produits afin que l'utilisateur n'ait plus à les toucher [56].

Il faut toujours se référer à la fiche technique et de sécurité du détergent, fournie par le fabricant [51].

- Respect des matériaux

Les produits utilisés en nettoyage ne peuvent pas être appliqués impunément sur tout type de matériaux car ils sont tous plus ou moins corrosifs [98].

En pratique, les risques de corrosion sont d'autant plus importants que la température et la concentration des produits augmentent et que la durée d'application est grande [98].

Plus le pouvoir oxydant est important, plus la corrosion par piqûres augmente; par contre, la corrosion générale n'est pas modifiée [98].

Dans un abattoir de volailles, le matériau le plus utilisé est l'acier inoxydable. Ce sont des aciers dans lesquels du chrome et du nickel ont été ajoutés. Le chrome augmente la dureté et la résistance. L'addition de molybdène ou de titane augmente la résistance à la corrosion. Cependant, le titane est un produit très cher [31].

Un autre point important est la teneur en soufre: ce dernier est une impureté qui provient de la fabrication métallurgique de ces matériaux. La présence de soufre, même à des concentrations très faibles, favorise la corrosion par piqûres et également la corrosion cavernueuse. La concentration admissible est de 0.005 à 0.015% [31].

- Protection de l'environnement.

Plus on utilise de produits, plus on en rejette, notamment sous forme d'épandage sur les cultures. Bien qu'actuellement les produits de nettoyage utilisés par les industriels ne représentent pas la plus grosse masse des détergents utilisés, il y a saturation des effluents. Cela commence à poser de réels problèmes. Par exemple, les phosphates qui constituent une très sérieuse menace pour les écosystèmes aquatiques lorsqu'ils sont présents en trop forte concentration, en avril 2007, la commission des communautés européennes a présenté au Conseil et au Parlement européen un rapport sur l'utilisation des phosphates dans les détergents dans la perspective d'une interdiction progressive ou d'une limitation s'imposant à des applications spécifiques [28]. Le rapport est conforme à l'article 16 du règlement (CE) n° 648/2004 du Parlement européen et du Conseil du 31 mars 2004 relatif aux détergents [89].

1.1.2.2. L'eau : dureté et pH

L'eau joue un rôle indispensable, aussi bien en tant qu'agent de dilution du détergent, qu'en tant que milieu de mise en suspension des souillures préalablement détachées du support [97].

Selon la réglementation en vigueur, l'eau utilisée en industrie alimentaire, notamment en abattoir de volailles doit être potable « Décret exécutif n° 91-04 du 19 janvier 1991 » relatif aux

matériaux destinés à être mis en contact avec les denrées alimentaires et les produits de nettoyage de ces matériaux [32].

L'eau potable contient toujours des corps dissous (sels minéraux, gaz). Pour juger de la qualité d'une eau en matière de nettoyage et de désinfection, on s'intéresse essentiellement à sa dureté et à son pH [97].

- **La dureté**

La dureté d'une eau se traduit par la quantité de sels alcalino-terreux qu'elle contient. On détermine la dureté de l'eau en mesurant son degré hydrotimétrique (TH) (tableau 2) qui correspond à la quantité de sels de calcium ou de magnésium, exprimée en carbonate de calcium (CaCO_3), contenue dans 100 000 parties d'eau [17, 34, 97].

Tableau 2 : Classification de l'eau en fonction de sa dureté. [109]

Eau très douce:	$\text{TH} < 7^\circ\text{F}$
Eau douce:	$7^\circ\text{F} < \text{TH} < 15^\circ\text{F}$
Eau moyennement dure:	$15^\circ\text{F} < \text{TH} < 25^\circ\text{F}$
Eau dure:	$25^\circ\text{F} < \text{TH} < 42^\circ\text{F}$
Eau très dure:	$\text{TH} > 42^\circ\text{F}$

- Si l'eau de nettoyage est dure, c'est-à-dire riche en calcaire, le détergent doit contenir des agents séquestrants, ou chélatants, qui permettent de piéger le calcium et le magnésium de l'eau. Plus l'eau est dure, plus le surdosage du détergent est nécessaire [82].

- Si l'eau de nettoyage a un titre hydrotimétrique faible, elle est agressive pour les métaux, il faut utiliser un détergent contenant des inhibiteurs de corrosion, qui vont empêcher la corrosion des surfaces métalliques surtout l'aluminium [82].

- **Le pH** [97]

Le pH de l'eau potable doit se situer entre 6.5 et 9. Les pH acides favorisent la corrosion des installations. Cependant un pH un peu acide de l'eau de nettoyage permet de meilleurs résultats.

1.1.2.3. Les moyens mécaniques

Pour faciliter le contact entre les souillures et les agents chimiques et pour favoriser leur élimination lors du rinçage, des actions mécaniques doivent être mises en oeuvre. Celles-ci peuvent être réalisées de diverses façons [48]:

- brossage : celui-ci doit être mis en oeuvre avec prudence: il tend en effet à répartir les micro-organismes sur l'ensemble de la surface traitée.

- utilisation de hautes pressions hydrauliques (plus de 100 bars), soit par circulation à grand débit des solutions dans les tuyauteries, soit par projection d'eau sur les surfaces à nettoyer.

Enfin, il ne faut en aucun cas utiliser des matériels poreux, tels que les éponges et les serpillières, les souillures se logeant très facilement dans leurs cavités et anfractuosités, où les micro-organismes trouvent des conditions très favorables à leur développement [40].

1.1.2.4. Facteurs d'efficacité

Les paramètres les plus importants se réfèrent à l'état de la surface, aux caractères de la souillure, à la température et à la concentration du détergent.

1.1.2.4.1. Choix du détergent approprié [101]

Il n'y a pas de mauvais produit, mais souvent une mauvaise adéquation du détergent au problème à résoudre, ainsi que le non respect des règles d'utilisation. Il faut donc bien choisir le détergent en fonction de la tâche à remplir; pour cela on tiendra compte notamment du pouvoir actif des composants du produit.

Dans un abattoir de volailles, on utilisera de préférence la soude pour l'élimination des souillures organiques, notamment les matières grasses (non cuites). Les acides seront réservés à l'élimination des dépôts minéraux.

Un bon détergent est celui qui correspond aux besoins, il doit en outre être adapté à la qualité de l'eau utilisée et aux matériaux des surfaces à nettoyer.

1.1.2.4.2. Etat des matériels et des locaux

En ce qui concerne l'état des surfaces, il est évident que la rugosité, les fentes, les fissures, les rainures, les recoins, les coudes dans les tuyauteries constituent des parties très difficiles d'accès pour les opérations de nettoyage et rendent plus difficile l'action du détergent et les actions mécaniques [91].

Une condition s'impose d'emblée : les locaux et les matériels doivent être conçus de façon à faciliter au maximum le nettoyage et être convenablement entretenus [98, 99].

Le nettoyage, la maintenance, la conception même du matériel et des locaux participent à une bonne hygiène, d'où la nécessité impérieuse de mettre en place des protocoles d'entretien des locaux, des équipements, avec les conditions d'intervention (fréquence, niveau de contrôle, planning des interventions) [99, 98].

1.1.2.4.3. Caractère de la souillure

La nature, la solubilité et l'état de la souillure revêtent également une importance capitale pour son élimination (tableau 3). Il apparaît notamment que l'élimination des souillures anciennes, souvent déshydratées, est beaucoup plus difficile que le nettoyage de souillures récentes. Il en résulte que les opérations de nettoyage doivent être plus fréquentes et plus régulières [74].

Par ailleurs, pour une quantité de détergent donnée, le temps de contact nécessaire pour obtenir l'effet souhaité est d'autant plus long que la quantité initiale de souillures est élevée. Pour atteindre une efficacité optimale sans augmenter la quantité de détergent, et donc le coût de l'opération, il faut par conséquent réduire au minimum la quantité de souillures présentes sur la surface au moment de l'application du détergent [39].

Tableau 3: Propriété des souillures [19].

Type de souillure	Solubilité	Facilité de nettoyage	Action de la chaleur
Sucres	- eau	facile	caramélisation plus difficile
Graisses	- milieu alcalin - eau: insoluble	difficile	polymérisation plus difficile
Protéines	- milieu alcalin - milieu acide: peu	très difficile	dénaturation beaucoup plus difficile
Sels minéraux	- milieu acide - eau: variable	facile à difficile	accélération de l'entartrage

1.1.2.4.4. Paramètres influençant la cinétique du détergent

- **La concentration** [82]

La concentration en détergent est un facteur qui influence l'efficacité du nettoyage.

- Concentration trop forte :

Un surdosage de la solution détergente n'entraîne absolument pas de sur-nettoyage des surfaces, mais cela pose bien au contraire des problèmes :

- le nettoyage conduit à des résultats équivalents voire moins bon qu'avec une solution correctement dosée;
- le rinçage est plus délicat, il y a alors un risque que des traces résiduelles de produits persistent;
- des difficultés de manipulation de la solution surdosée, corrosion accélérée des surfaces;
- des dépenses inutiles puisqu'il y a une surconsommation de produit actif.

- Concentration trop faible :

Un détergent trop faiblement dosé conduit à un manque de produit actif, qui peut avoir plusieurs conséquences :

- corrosion des surfaces car manque d'inhibiteurs de corrosion ;
- dépôt de tartre sur les surfaces car manque d'agents séquestrants ;
- formation de mousse non voulue par manque d'agents anti-moussants (dans le cas du trempage des outils par exemple).
- il peut rester des souillures, qui compromettent l'efficacité de la désinfection ultérieure.

- **Le mode de contact**

Les différents modes de contact entre la souillure et la solution de nettoyage sont [82] :

- le brossage, le raclage, le grattage... ;
- l'agitation de la solution de détergent ou de la pièce à nettoyer (nettoyage par trempage-immersion) ;
- la pression avec laquelle est projetée la solution au cours du nettoyage en place (jet sous pression).

- la mousse, qui est générée et lancée par des appareils à mousse, permet de visualiser les surfaces à nettoyer et d'effectuer une détergence dynamique en augmentant le temps de contact entre la surface et le produit chimique.

L'action mécanique est aussi importante que celle du détergent car elle permet de décoller les souillures qui adhèrent fortement aux surfaces [40].

- **La température** [82]

La température de la solution détergente, au moment de son utilisation doit également être maîtrisée car elle constitue l'accélérateur des réactions chimiques d'une part, et permet une meilleure solubilisation des souillures d'autre part.

Les températures couramment utilisées dans cette phase de nettoyage, pour la préparation de la solution, se situent entre 45°C et 60°C, et peuvent atteindre 70°C lors d'une application mécanique.

Son influence favorable se traduit de diverses manières:

- elle ramollit les graisses,
- elle facilite la pénétration des détergents,
- elle abaisse la tension interfaciale,
- elle accélère les réactions de saponification et éventuellement d'hydrolyse de certains constituants des souillures.

Ces effets bénéfiques sont cependant limités par des effets néfastes lors d'application de températures excessivement élevées:

- elle peut provoquer une "cuisson" des souillures protéiques et conduire à une augmentation de leur adhérence sur le support,
- elle peut entraîner une détérioration des matériaux fragiles, tels que le caoutchouc et le verre,
- elle est aussi à l'origine d'un coût élevé de l'opération de nettoyage en matière de production d'énergie.

- **Le temps de contact**

Le temps d'action est un facteur que l'on cherche toujours à minimiser.

Cependant, il faut respecter un certain temps d'action pour les détergents et les désinfectants, afin que leur action chimique vis-à-vis des souillures puisse avoir lieu, surtout dans le cas des mousses. S'il est trop court, l'effet prévu n'est pas obtenu, la réaction reste incomplète [82].

La durée moyenne est de vingt minutes. En cas de contact trop prolongé, des effets néfastes peuvent apparaître: corrosion, déshydratation de la mousse entraînant des difficultés de rinçage [40].

Le nettoyage est une étape indispensable avant la désinfection. En effet, si on réalise cette dernière après un nettoyage insuffisant, elle risque d'être compromise car les souillures restantes épuisent le potentiel du produit de désinfection et masquent les micro-organismes qui sont alors protégés de l'action désinfectante.

Ce pendant, l'opération de nettoyage pose d'autant moins de problèmes que le résultat est grossièrement visualisable, contrairement à la désinfection.

1.2. La désinfection

Il s'agit d'une "opération au résultat momentané, permettant d'éliminer ou de tuer les microbes et/ou d'inactiver les virus indésirables portés par des milieux inertes, en fonction des objectifs fixés" (AFNOR NF T72.101).

Pratiquement, il est impossible d'obtenir des surfaces stériles; on cherche donc à se débarrasser de tous les germes nocifs et à réduire le nombre de micro-organismes banals en deçà d'un seuil acceptable, compatible avec une qualité optimale du produit fini.

Après une brève présentation du microbisme présent en abattoir de volailles, nous étudierons les possibilités d'élimination des micro-organismes d'un point de vue théorique comme d'un point de vue pratique.

1.2.1. Le microbisme en abattoir de volailles : sources des contaminations microbiennes

Tout au long de la chaîne d'abattage, les conditions technologiques et hygiéniques de préparation des volailles jouent un rôle prédominant sur la qualité finale des carcasses, tant d'un point de vue microbiologique que d'un point de vue organoleptique ou physique. Le diagramme d'abattage et de préparation de la volaille est joint en annexe 1.

Il paraît fondamental de connaître les différents microbes rencontrés en abattoir de volailles, leur origine et leur évolution au cours des opérations d'abattage, afin d'organiser judicieusement les opérations de désinfection. Dans un souci de simplification, on prend généralement pour exemple les bactéries, qui sont à l'origine de la plupart des altérations et dangers des viandes.

1.2.1.1. Micro-organismes présents sur les carcasses de volailles

Une partie de ces microbes est présente sur les volailles vivantes au moment où elles entrent dans les abattoirs. Les souillures et matières fécales qui se trouvent sur les pattes et les plumes des volailles d'une part, dans le contenu de l'intestin d'autre part, sont les principales sources de contamination. La peau est également contaminée par un certain nombre de micro-organismes. Les inconvénients résultant de la présence des microbes qu'il faut combattre sont de trois ordres: marchand, hygiénique et sanitaire. L'objectif général de la désinfection étant la lutte contre ces micro-organismes, il est utile de définir, dans ce cadre, les trois grands types de germes [47].

- **Micro-organismes responsables de l'altération de la qualité marchande**

Ces germes sont le plus souvent des germes banals, saprophytes, dont la présence n'est pas nuisible en soi et en tout cas, ne constitue pas un danger pour la santé publique. Mais lorsque leur nombre dépasse certains seuils, leur métabolisme produit des substances dont l'action devient perceptible; les caractères organoleptiques des denrées (couleur, aspect, consistance, odeur, saveur) s'en trouvent modifiés [94, 40].

Deux genres bactériens sont le plus souvent associés à l'altération des produits de volailles [68] :

- *Pseudomonas* (Cas des produits conditionnés sous film perméable) ;
- *Brochothrix thermosphacta* (Cas des produits conditionnés sous film imperméable).

- **Micro-organismes servant à l'appréciation de la qualité hygiénique**

Il s'agit ici de germes encore appelés témoins de contamination fécale. Cependant dans certaines circonstances il peut y avoir un danger pour le consommateur: c'est le cas de coliformes fécaux par exemple [94].

Ces germes de contamination fécale jouent un rôle essentiel dans l'appréciation de la qualité hygiénique des denrées alimentaires [40].

- **Micro-organismes pathogènes**

Les micro-organismes potentiellement pathogènes pour l'homme tels que *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia*, *Staphylococcus* peuvent être retrouvés sur les carcasses de volailles et peuvent, dans des conditions favorisant leur développement, être à l'origine directement ou indirectement d'accidents alimentaires [47].

Les bactéries pathogènes susceptibles d'être isolées à partir d'une carcasse de volaille sont nombreuses [63, 68] :

- *Salmonella*
- *Campylobacter jejuni* et *Coli*
- *Listeria monocytogenes*
- *Staphylococcus aureus*
- *Clostridium perfringens*
- *Escherichia Coli* (en particulier 0157 H7)
- *Yersinia enterocolitica*
- *Aeromonas*
- *Clostridium botulinum*

De même, l'incidence pathologique d'*Aeromonas* est mal connue. Enfin, concernant *C. botulinum*, les conditions écologiques de conservation des carcasses de volailles ne lui sont pas favorables. D'autres germes, tels *Staphylococcus aureus* et *Clostridium perfringens* ne représentent pas des dominantes pathologiques d'une gravité extrême, mais présentent une prévalence importante [86].

Au contraire, les microorganismes des genres *Salmonella*, *Campylobacter* et *Listeria* constituent des dominantes pathologiques soit par leur prévalence, soit par leur gravité. L'analyse des dangers sera donc essentiellement focalisée autour de ces trois genres bactériens [72].

1.2.1.2. Eau [97]

L'eau est bien entendu potable à son entrée dans l'abattoir, mais il faut s'assurer qu'elle le reste jusqu'au site d'utilisation par un entretien et des contrôles réguliers de tout le réseau et des points de distribution. Mais cela ne suffit pas; il se peut en effet que bien que contrôlée d'un point de vue hygiénique, elle ne convienne pas pour la préparation des produits alimentaires.

Différents problèmes peuvent alors se poser, en particulier celui du traitement de l'eau par différents produits chimiques. A ce titre, les industriels se demandent souvent dans quelle mesure il serait possible de traiter l'eau des bains d'échaudage par un procédé chimique pour la décontaminer, comme c'est le cas aux USA où cette pratique est autorisée.

1.2.1.3. Air [80]

Il est bien évident que dans les abattoirs, un air humide et chaud va favoriser le développement microbien; dans ce cas les facteurs température et humidité agissent conjointement. C'est pour cette raison que les locaux dans lesquels sont pratiqués l'échaudage et la plumaison, où l'air est nécessairement assez chaud et humide, doivent être séparés des locaux dits d'éviscération et de conditionnement, où l'air ambiant doit être aussi frais et sec que possible.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier la présence d'humidité à la surface des carcasses qui favorise le développement des micro-organismes.

1.2.1.4. Equipements et matériels utilisés

En ce qui concerne les appareils et le matériel utilisés, une volaille contaminée va polluer toutes celles qui vont passer après elle dans le même appareil sur la chaîne d'abattage [50].

Mis à part le passage dans les bacs d'échaudage, le point le plus critique est ensuite le passage dans les plumeuses; il est certain en effet que les doigts des plumeuses, qui sont très difficiles à laver et à désinfecter, réalisent le plus souvent un véritable ensemencement de la peau en profondeur, les germes se développant d'autant plus facilement que l'humidité de la peau est alors élevée (trempage préalable dans l'eau du bac d'échaudage, aspersion dans les plumeuses parfois). Ensuite, tout au long de la chaîne, les contaminations en série peuvent s'effectuer de la même façon, bien qu'à un degré moindre, par l'intermédiaire de différents appareils [50, 43].

1.2.1.5. Personnel [87, 92, 50]

Le personnel joue un rôle important dans la qualité microbiologique du produit fini. Ce rôle peut éventuellement être néfaste, et ceci de plusieurs façons :

- par transfert des germes déjà présent, cette transmission peut se faire : par contact manuel, par les vêtements, les chaussures, par les cheveux, par les mouvements d'air, éternuements, etc. ;
- par apport de germes nouveaux. Il peut y avoir, en particulier, apport de germes présentant des incidences sanitaires : staphylocoques, germes fécaux ;
- indirectement, le personnel peut permettre la prolifération des micro-organismes par des erreurs de manipulation, de stockage, de nettoyage, etc. Il est important, avant tout, que le personnel en contact avec les aliments ait reçu une sensibilisation vis-à-vis des problèmes d'hygiène alimentaire.

1.2.2. L'élimination des micro-organismes

1.2.2.1. Les produits de désinfection

Tout comme les détergents, les désinfectants utilisés en industries alimentaires doivent être autorisés par la réglementation en vigueur [36].

1.2.2.2. Les molécules désinfectantes

- Les produits chlorés :

Les produits chlorés agissent par oxydation des structures protéiques de la membrane cellulaire des micro-organismes en détruisant sa perméabilité sélective. Sur les spores, le chlore agit au niveau de la tunique puis du cortex de la spore et lui fait perdre sa capacité de germination [16, 97, 76, 41].

Ce sont les produits les plus couramment utilisés dans les industries alimentaires car ils possèdent un spectre bactéricide, fongicide, virucide et sporicide très étendu. Ils sont peu toxiques, peu moussant, peu coûteux et s'utilisent en pH alcalin, leur efficacité est améliorée avec la température [30].

Ces produits présentent néanmoins un inconvénient majeur, celui d'être corrosif à pH = 8,5. Ils sont peu stables à chaud et sensibles aux matières organiques [79].

- L'iode et les composés iodés :

L'iode agit par oxydation sur les protéines enzymatiques et structurales des bactéries et possède un spectre bactéricide large [30].

Les propriétés désinfectantes de l'iode sont connues de longue date, mais sa faible et lente solubilité dans l'eau froide, son odeur, sa tendance à colorer la plupart des matières organiques et son pouvoir corrosif vis-à-vis de certains métaux ont considérablement restreint son utilisation dans l'industrie alimentaire. Enfin, il est difficilement rinçable, irritant, coûteux, non stable à chaud (se sublime à 43°C) et sensible aux matières organiques [79, 16, 97, 76].

- Les produits à ammonium quaternaire « PAQ » :

Les PAQ peuvent être appliqués seuls sur des surfaces préalablement nettoyées, ou employés avec d'autres détergents. Toutefois, il convient d'être prudent dans le choix des détergents, les PAQ peuvent être inactivés par les agents de surface anioniques et les savons [76].

Les PAQ sont particulièrement indiqués pour les immersions de longue durée en raison de leur stabilité (pH et température). Faute d'un bon rinçage après désinfection, les résidus peuvent entraîner une altération du goût des produits alimentaires. De par leurs propriétés mouillantes, les PAQ, entrent en contact étroit avec les cellules, où ils agissent par blocage de voies métaboliques. Leur spectre d'activité est plus faible que celui des halogènes, ils sont en effet très peu efficaces sur les spores et les virus [97, 16].

Les PAQ présentent de plus l'avantage d'être non corrosifs et peu toxiques [79].

- La famille des formolés (formaldéhydes, glutaraldéhyde)

Le formol est peu utilisé en raison de sa toxicité. Le glutaraldéhyde et le glyoxal sont beaucoup plus employés [30, 79].

Les formolés sont d'excellents bactéricides par action sur les protéines des micro-organismes; ils sont non corrosifs. Leur concentration d'utilisation est relativement faible (1 à 2%). La plupart du temps, ils sont associés à des ammoniums quaternaires. Ces derniers sont utilisés davantage pour des motifs technologiques (augmentation de la cinétique d'activité des aldéhydes) que comme désinfectants.

Leur odeur et leur toxicité sont des inconvénients non négligeables. De plus, ils ont une action lente, de quelques heures à vingt quatre heures. En cas de décapage insuffisant, les formols forment avec les protéines des substances dures, les galalithes, difficiles à éliminer [76, 79].

Cependant, le glutaraldéhyde n'est pas inactivé par les matières organiques. Un inconvénient, qui concerne surtout ce dernier, est le fait que ce produit n'est plus bactéricide à pH acide [79].

- Le peroxyde d'hydrogène ou eau oxygénée (H₂O₂)

Son activité bactéricide est due à la libération aisée et graduelle d'un atome d'oxygène qui jouit d'un pouvoir oxydant et antiseptique considérable. Ce produit est surtout actif sur les germes anaérobies; il est peu actif sur les streptocoques et les bacilles lactiques [97, 44].

Le peroxyde d'hydrogène est non corrosif, non moussant, non toxique et facilement rinçable, mais ses inconvénients résident dans le fait qu'il est sensible aux matières organiques et qu'il nécessite un temps de contact prolongé [79].

- L'acide peracétique :

C'est un agent à l'état liquide qui est très actif, en particulier sur les spores bactériennes ou les bactériophages. Il est efficace à basse température (0 à 10°C) mais il existe des risques de corrosion en présence de chlorures dans l'eau par exemple [16].

Instable, l'acide peracétique se décompose en acide acétique et peroxyde d'hydrogène. Pour remédier à son instabilité, il faut faire des mélanges relativement stables contenant 35% d'acide peracétique, 10% de peroxyde d'hydrogène et 40% d'acide acétique [30, 76].

1.2.2.3. Produits formulés [100]

Les produits désinfectants résultent en général de l'association d'éléments microbicides (précédemment cités) et d'éléments qui synergisent ou renforcent leur action tels que:

- les tensioactifs, qui favorisent le contact entre le composant actif et les germes à détruire,
- les complexants, qui évitent les inconvénients dus aux ions calcium et magnésium,
- les sels, les alcalins et les acides, dont, le rôle est de maintenir le pH des solutions à la valeur optimale d'activité microbicide du produit,
- des substances anti-corrosives.

On retrouve donc les mêmes composants que pour les détergents.

1.2.2.4. Règles à respecter pour l'utilisation des désinfectants

Comme les détergents, les désinfectants sont des produits chimiques dangereux pour le manipulateur, le consommateur, les surfaces et l'environnement. L'utilisation de produits formulés, le strict respect des données du fabricant et un bon rinçage final permettent de limiter ou d'éliminer ces inconvénients.

1.2.2.5. Désinfection par la chaleur [97]

Pour la désinfection des outils (couteaux par exemple) au cours du travail, la réglementation [35] « Directive 92/116/CEE du Conseil, du 17 décembre 1992 » impose l'utilisation d'eau à une température d'au moins 82°C. L'utilisation de la chaleur présente néanmoins de nombreux inconvénients:

- Problème de coagulation des protéines.
- Problèmes éventuels de brûlures du personnel.
- Coût énergétique.

1.2.2.6. Facteurs d'efficacité

1.2.2.6.1. Choix du désinfectant

Vu la diversité des micro-organismes rencontrés dans un abattoir de volailles, un désinfectant à large spectre s'impose. Un bon désinfectant possède tout ou partie des qualités suivantes [40] :

- il a une action persistante (rémanence) ;
- il a un spectre d'activité le plus large possible (annexe 2) ;
- il agit à faible dose ;
- il est sans action corrosive sur le matériel ;
- il ne laisse pas de résidus après le rinçage ;
- il est compatible avec les denrées alimentaires ;
- les bactéries ne s'y adaptent pas (pas de phénomène d'accoutumance).

L'activité désinfectante est définie in vitro par des essais normalisés qui déterminent la concentration nécessaire pour réduire la population microbienne initialement présente de 99,999% (« 5 log » ou 5 réductions décimales) pour les bactéries après cinq minutes de contact à 20°C et 99,99% (« 4 log ») pour la flore fongique ou virale après 15, 30 et 60 minutes de contact à 20°C [73].

1.2.2.6.2. Paramètres influençant la cinétique du désinfectant [40]

La première règle est d'appliquer le produit sur une surface débarrassée des souillures et parfaitement rincée. La seconde est de l'appliquer avec TACT:

- T: temps d'action du désinfectant,
- A: action manuelle ou mécanique,
- C: concentration du produit,
- T: température d'application.

L'activité microbicide dépend de la concentration du produit, de la température et du temps de contact. Ainsi, pour un désinfectant élever la température ou augmenter la concentration permet souvent d'avoir une action plus rapide

- **Le temps de contact** [97, 17]

Si la durée est insuffisante, l'action microbicide n'a pas lieu. Il convient à cet égard de respecter exactement les prescriptions du fabricant. En prolongeant la durée d'application, on accroît

l'efficacité de la désinfection, mais on augmente d'autant les risques de corrosion. En cas d'application sous forme de mousse, le temps de contact doit être limité à vingt minutes afin d'éviter que la mousse ne sèche.

- **L'action mécanique** [97]

L'action mécanique (brossage, produit moussant, jet sous faible pression) permet un meilleur contact entre la solution et les micro-organismes; les ustensiles utilisés (brosses, balais...) doivent évidemment avoir subi une désinfection préalable.

La pulvérisation ou l'aspersion de ces produits désinfectants doit être effectuée sur des surfaces propres, de manière à optimiser leur efficacité. L'adjonction d'un support moussant permet, outre l'amélioration de l'effet mécanique et l'augmentation du temps de contact, de mieux visualiser le déroulement de l'opération.

La désinfection des locaux et du matériel y séjournant peut également être envisagée par nébulisation ou pulvérisation de fines gouttelettes dans l'air ambiant; cette opération ne peut cependant se réaliser en présence du personnel, mais peut être par exemple un complément efficace en fin de semaine.

- **La concentration**

Comme pour les préparations pharmaceutiques, l'action d'un désinfectant passe par toute une série d'étapes qui sont fonction de la concentration. Aux très grandes dilutions, les désinfectants sont totalement inefficaces, c'est à dire qu'ils sont sans effet sur la vie et sur le métabolisme des micro-organismes. Cette constatation souligne combien il importe de respecter la concentration optimale pour obtenir la désinfection [97].

A la concentration optimale indiquée par le fabricant, le désinfectant a un effet microbicide c'est à dire qu'il tue les germes. Passée cette concentration, l'efficacité microbicide, n'augmente plus. C'est pourquoi l'utilisation d'un désinfectant à des concentrations excessives n'a pas de sens du point de vue microbiologique, ni du point de vue économique, d'autant que ces concentrations favorisent la corrosion du matériel et augmentent la quantité des effluents chimiques [104].

- **La température**

En règle générale, on utilise les désinfectants chimiques à la température ordinaire. Au dessous de 0°C, ils peuvent perdre toute efficacité car celle-ci dépend de leur transport par l'eau. Il est

évident que le produit enfermé dans des cristaux de glace ne peut plus être transporté jusqu'aux parois des cellules bactériennes [17].

Aux températures basses, par exemple +5°C, l'efficacité du désinfectant baisse sensiblement par comparaison avec ce qu'elle est à la température ambiante; dans ce cas il faut augmenter la durée de contact [17].

Une augmentation excessive de la température peut inactiver le désinfectant, augmenter les risques de corrosion et les dangers de manipulation. Par exemple, à une température de 15°C et pour une valeur de pH de 7, cinq fois plus d'acide peracétique est requis pour une même efficacité pour la désinfection qu'à une température de 35°C et à un pH de 7 [97].

1.2.2.6.3. Facteurs humains [40]

Le monde microbien est infiniment petit, invisible à l'oeil nu. D'où la difficulté pour un personnel non informé d'appréhender la nécessité d'une phase de désinfection, alors que tout paraît propre. La formation et la motivation du personnel restent donc les clés de l'efficacité.

1.2.3. Limites de la désinfection

1.2.3.1. Accoutumance aux agents de désinfection

Après un contact prolongé avec un seul désinfectant, surtout s'il est utilisé en concentration insuffisante, les micro-organismes peuvent développer une accoutumance au produit [49].

Cette accoutumance peut apparaître de différentes façons, la bactérie peut produire des enzymes d'inactivation, s'opposer à la pénétration du produit ou être capable d'excréter le biocide absorbé [76].

Cette accoutumance se révèle être plus fréquente avec les désinfectants suivants [82, 103] :

- Les ammoniums quaternaires ;
- les phénols ;
- les amphotères ;

Et beaucoup plus rare avec :

- les désinfectants chlorés et iodés ;
- les oxydants ;
- les aldéhydes.

Afin de minimiser ces phénomènes d'accoutumance des micro-organismes, et d'éviter de sélectionner une flore résistante qui sera de plus en plus difficile à éliminer, il est recommandé

de respecter les concentrations indiquées ou d'utiliser de désinfectants associés. Si les résultats des contrôles de la désinfection sont mauvais plusieurs fois de suite malgré le respect des procédures de nettoyage-désinfection, il peut être envisagé d'alterner le désinfectant [69, 95].

1.2.3.2. Les biofilms [27]

Les biofilms sont à l'origine de problèmes majeurs d'hygiène dans les industries alimentaires. Les surfaces des ateliers et des équipements peuvent être le siège de développements microbiens très divers. Cependant, bien que limité, le temps imparti au développement des biofilms est suffisant pour permettre l'attachement, la croissance et le développement de micro-colonies sur les surfaces, lesquelles peuvent héberger jusqu'à 10^6 à 10^7 bactéries par centimètre carré, ce qui constitue un biofilm typique.

Ces biofilms sont une source de contamination pour les aliments, soit directement, soit indirectement par des vecteurs tels que le personnel, les déplacements d'air ou les systèmes de nettoyage eux-mêmes (tuyaux et lances).

Cette microflore de contamination est de deux types: la microflore pathogène et la flore saprophyte qui est susceptible d'altérer les aliments ou tout au moins de diminuer la durée de vie des produits.

- **Formation des biofilms** [19, 27, 74]

La formation d'un biofilm peut se décrire en cinq étapes (figure 1) :

- Formation du film conditionnant

Des substances organiques ou non d'origine diverse vont s'adsorber sur les surfaces, en particulier des souillures d'origine alimentaire et également des résidus de produits de nettoyage et désinfection. Ces derniers peuvent être responsables de modifications chimiques des souillures, sans parvenir à les éliminer totalement.

Il se forme ainsi un film conditionnant qui va modifier à la fois la charge de la surface et son énergie libre et donc modifier le comportement des surfaces vis-à-vis de l'adhésion.

- Transport des micro-organismes vers la surface

Les phénomènes impliqués sont principalement la diffusion ou le transport turbulent selon la cinétique du fluide en écoulement sur la surface. La sédimentation et le mouvement autonome des germes ciliés ou flagellés, guidés ou non par chimio- ou thermotactisme participent également à ce phénomène.

- Adsorption réversible des cellules sur les surfaces

Ceci correspond à l'immobilisation d'une première couche de micro-organismes. C'est un phénomène extrêmement rapide, quasiment instantané, qui fait intervenir des interactions purement physiques. Ce phénomène présente un caractère de réversibilité; il fait intervenir essentiellement les propriétés des surfaces et leurs conditionnements.

- Fixation irréversible des cellules sur les surfaces

Elle se fait grâce à la production par les bactéries d'exo-polymères, de type polysaccharidique ou glycoprotéique, qui permettent aux cellules d'adhérer de façon irréversible sur les surfaces. C'est une étape qui dépend essentiellement de la nature des germes et de leur métabolisme et qui se déroule donc plus lentement que la précédente.

- Colonisation

Les germes qui ont adhéré sur les surfaces vont se multiplier; les polymères produits par chacun des micro-organismes vont fusionner. On aboutit à la formation d'un biofilm.

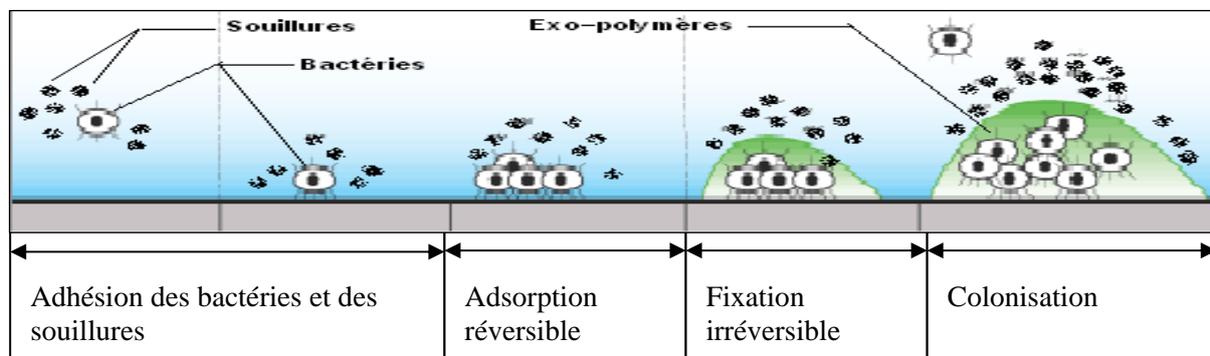


Figure 1 : Processus de formation du biofilm [27].

- **Intérêt des biofilms en hygiène**

Les bactéries retirent de nombreux avantages de cet état fixé; le plus important est la résistance accrue aux désinfectants. De très nombreux travaux ont confirmé ceci.

En ce qui concerne les raisons de cette résistance des bactéries d'un biofilm, différentes hypothèses ont été émises [27] :

- L'effet barrière de la matrice polymérique du biofilm.
- Les bactéries au sein de ce biofilm mettraient en commun leurs équipements enzymatiques; il y aurait de nouvelles voies de dégradation qui permettraient de dégrader les désinfectants.
- Les polymères de la matrice sont souvent des polyosides qui sont polyanioniques et qui pourraient donc agir comme des résines échangeuses d'ions et fixer les molécules de désinfectants.
- L'existence de protéines de stress; ceci est une idée relativement récente. Les bactéries au sein d'un biofilm, du fait de leur état de privation nutritionnelle, produiraient des protéines de stress qui seraient responsables de cette résistance.

Ce phénomène est d'autant plus critique que le nettoyage, précédant la désinfection, est souvent inefficace sur les biofilms puisque la matrice polymérique assure une forte adhésion aux surfaces [48, 61].

1.3. Les différentes phases du nettoyage et de la désinfection en abattoir de volailles

Un bon nettoyage et une bonne désinfection impliquent la mise en oeuvre d'une méthode de travail cohérente. Pour obtenir la propreté physico-chimique et microbiologique dans des locaux aussi souillés, que ceux d'un abattoir de volailles, plusieurs étapes sont nécessaires.

1.3.1. Phase préliminaire : rangement et déblayage [34]

Ranger les ateliers est bien la première étape à effectuer avant d'aller plus loin dans le protocole de nettoyage et de désinfection. Il s'agit de faciliter les opérations ultérieures de nettoyage puis de désinfection en rangeant tout matériel entravant ou rendant dangereux le passage. Au cours de cette étape il s'agit aussi de préparer le matériel aux diverses opérations de nettoyage.

Le rangement et le déblayage doivent ou devraient être réalisés par le personnel de production posté. Il s'agit, par exemple, du stockage des denrées pouvant être reprises lors du prochain cycle de travail, du rangement du matériel mobile (chariots, bacs, caisses, cagettes), du petit matériel (couteaux, gants...), des conditionnements et des emballages inutilisés.

1.3.2. Phase de nettoyage

Le prénettoyage étant terminé, le nettoyage au sens strict peut commencer.

1.3.2.1. Nettoyage mécanique ou prédécapage

Le but de cette étape est l'élimination des déchets visibles, faciles à enlever. Ce nettoyage peut consister en un raclage, un grattage ou un brossage. Il est de plus en plus réalisé en utilisant la force mécanique de l'eau sous pression [97].

Si cette opération n'est pas correctement réalisée, l'étape de nettoyage suivante nécessitera un surcroît de travail nettement supérieur au temps gagné. De même, la consommation d'eau sera plus importante dans le cas d'un mauvais respect de cette étape [34].

- **Prélavage à l'eau chaude à basse ou moyenne pression** [48]

L'eau chaude à 50°C est hautement souhaitable sauf pour le poste de saignée qui exige une eau froide ou tiède. Elle est utilisée à une pression de 4-5 à 20-30 bars suivant l'équipement disponible et l'état des surfaces à traiter.

Cette opération permet d'éliminer les déchets faiblement accrochés aux surfaces et de réhydrater les souillures sèches. On s'attachera à respecter les recommandations suivantes:

- commencer par le haut des équipements,
- ne pas insister sur les souillures fortement accrochées,
- lorsqu'on en a terminé avec les appareils, prélever les murs autour en commençant par le haut,
- terminer par le raclage des sols,
- évacuer l'eau des siphons de sol munis de leur grille.

- **Prélavage à l'eau chaude à haute pression** [48]

Il est destiné aux souillures fortement accrochées aux surfaces et qui ont résisté aux précédents traitements. On utilise de l'eau à environ 50°C distribuée sous une pression supérieure à 60 bars (de 60 à plus de 100 bars).

Les règles d'utilisation de l'eau sous pression sont les mêmes que celles indiquées ci-après pour le rinçage intermédiaire.

On terminera le prélavage du sol en utilisant le jet comme un balai en suivant la pente du sol.

1.3.2.2. Détergence [34]

Le but de cette opération est de retirer totalement les salissures encore présentes sur les surfaces. Il s'agit de recouvrir, à l'aide d'un matériel adapté, toutes les surfaces, machine, murs et sols d'une couche de mousse.

Suivant la nature des salissures (matières organiques ou minérales) on utilise un produit alcalin ou acide et l'on parle de détergence ou de désincrustation.

1.3.3. Rinçage intermédiaire [34]

Le but de cette opération est de rincer la mousse et d'éliminer les salissures (matières organiques, tartre, etc.) mises en suspension par la solution détergente ou désincrustante.

Ce rinçage intermédiaire doit être réalisé à haute pression (60 bars), à une température de 50 à 60°C et à un débit d'environ un mètre cube par heure, de façon à détacher les souillures les plus tenaces, chasser le complexe détergent mousse-souillures et éliminer la plupart des micro-organismes.

Pour les sols, la pression nécessaire est moyenne (20 à 30 bars) et le débit est plus élevé (1.5 m³/heure).

La propreté est visuelle mais aussi tactile: les graisses et le sang ont été éliminés.

La plupart des utilisateurs lors du rinçage exagèrent l'importance de la pression et négligent les autres paramètres, en effet quatre paramètres sont à considérer :

- **Pression**

La haute pression dégrade les matériaux, ce qui entraîne une augmentation des coûts de maintenance. D'autre part, il convient de préciser à quel niveau se chiffre la pression: pression machine ou pression au lieu d'impact [40].

L'inconvénient majeur de la haute pression est la redéposition des particules décollées et projetées dans l'air sur les surfaces nettoyées [45], ainsi que la pénibilité d'utilisation qui est due à l'effet physique pour tenir la lance, au niveau sonore (bruit intense) et aux accidents du personnel [75].

Ceci confirme les récentes recommandations d'utilisation des moyennes pressions [48].

- **Débit [48]**

Pour multiplier par deux la force de décapage, il suffit de doubler le débit. Notons qu'en terme de pression il faut, pour obtenir le même résultat, multiplier par quatre la pression à la pompe.

- **Distance buse-surface** [48]

La pression efficace varie avec la distance. Par exemple, Pour un éloignement de 10 à 40 centimètres, la pression passe de 15 bars à 3 bars, et la force de décapage diminue.

- **Angle de jet** [48]

La pression est bien entendu maximale avec un jet perpendiculaire à la surface ; cependant, cet angle provoquerait le plaquage des salissures. En diminuant l'angle d'attaque (par exemple, angle de jet à 45°), il faut plus que doubler la pression machine pour obtenir la même pression efficace.

Ajoutant, pour être complet, qu'il est fortement déconseillé (sauf situations particulières) de dépasser 60 bars réels sous peine de créer un phénomène de brumisation : l'aérosol ainsi formé dans le local entretient un taux d'humidité dans des zones difficilement accessibles (plafonds, partie cachée des machines, tableaux de commande même protégés).

En conclusion, le rinçage intermédiaire se révélera efficace pour une pression effective de 25 à 60 bars, un débit maximum de 1500 litres à l'heure, une application à 40 centimètres de la paroi et un angle variable de jet de 40 à 45°. L'angle peut être légèrement plus perpendiculaire pour les souillures difficiles à détacher.

1.3.4. Désinfection

Après les opérations de nettoyage décrites précédemment, les souillures organiques et minérales sont éliminées. La propreté visuelle est obtenue ; il reste à éliminer les micro-organismes afin d'obtenir la propreté microbiologique. Le nettoyage n'a éliminé qu'une partie des micro-organismes[97].

Quel que soit le mode d'application (pulvérisation, aérosolisation, brumisation, etc.), on doit toujours respecter les mêmes règles élémentaires d'hygiène de fonctionnement et de travail que l'équipe de production, c'est-à-dire [34]:

- toujours aller de la zone la moins contaminée vers la zone la plus contaminée sans jamais revenir en arrière, c'est-à-dire suivre la chaîne en sens inverse
- respecter la séparation des ateliers,
- se soumettre aux mêmes conditions d'accès que le personnel de production en respectant les sas qui évitent l'introduction de souillures à partir de l'extérieur.

1.3.5. Rinçage du désinfectant

Cette opération consiste à éliminer les traces de désinfectant présentes sur le matériel et les surfaces. Après la propreté visuelle puis microbiologique, cette opération de rinçage permet d'obtenir la propreté chimique indispensable pour garantir une fabrication de denrées alimentaires exemptes de résidus chimiques indésirables [34].

Le rinçage se termine par la vidange des équipements et le drainage des sols afin qu'ils ne restent pas humides pendant les périodes de repos car l'humidité est favorable à la croissance microbienne.

Dans de nombreux domaines, notamment celui de la transformation des viandes, la contamination qui résulte d'une mauvaise maîtrise de l'hygiène des surfaces et du matériel peut avoir un impact considérable sur la durée de vie économique des produits et la santé publique [37]. Afin de contribuer à cette maîtrise, les scientifiques proposent des désinfectants de plus en plus évolués, adaptés à chaque situation. Cette maîtrise de l'hygiène passe également par le respect des règles d'application des produits, mais essentiellement par une bonne organisation des opérations de nettoyage et de la désinfection [40].

2. ORGANISATION DES OPERATIONS DE NETTOYAGE ET DE LA DESINFECTION DANS UN ABATTOIR DE VOLAILLES

2.1. Aspects législatifs et réglementaires

L'abattoir de volailles doit se soumettre aux textes législatifs et réglementaires en matière de nettoyage et de désinfection.

Malheureusement, en Algérie, il n'existe pas une réglementation spécifique précisant les règles applicables au nettoyage et à la désinfection des abattoirs de volailles, néanmoins, il existe quelques textes qui parlent d'une manière générale de l'hygiène et de la propreté dans les industries agroalimentaires à savoir :

- L'arrêté interministériel du 2 juillet 1995 relatif à la mise à la consommation des volailles abattues [10] qui indique, dans l'article « 12 », que les conditions en matière d'hygiène, d'abattage, de transport, de stockage et de conservation de volailles mises à la consommation doivent être conformes aux dispositions du décret exécutif n° 91-53 du 23 février 1991.
- Le décret exécutif n° 91-53 du 23 février 1991 relatif aux conditions d'hygiène lors du processus de la mise à la consommation des denrées alimentaires [33]. Ce décret a pour objet de

fixer les conditions générales à respecter en matière d'hygiène lors du processus de mise à la consommation des denrées alimentaires.

- Le décret exécutif n° 91-04 du 19 janvier 1991 relatif aux matériaux destinés à être mis en contact avec les denrées alimentaires et les produits de nettoyage de ces matériaux [32]. Il a pour objet de fixer les conditions d'utilisation et les caractéristiques techniques des matériaux destinés à être mis au contact des denrées alimentaires ainsi que les produits de nettoyage de ces matériaux.

En Europe, il existe une série de directives et de règlements :

- La directive 92/116/CEE du Conseil, du 17 décembre 1992, portant modification et mise à jour de la directive 71/118/CEE relative à des problèmes sanitaires en matière d'échanges de viandes fraîches de volaille [35], et il fixe les conditions sanitaires auxquelles doivent satisfaire les établissements d'abattage de volailles.

- La directive du Parlement européen et du Conseil n° 98/8/CE du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides [36].

- Le paquet hygiène : depuis le 1er janvier 2006, sur l'ensemble du territoire de l'Union européenne, sont entrées en vigueur six règlements et deux directives qui précisent les règles de sécurité alimentaire. Le règlement 852/2004, qui établit les règles générales en matière d'hygiène des denrées alimentaires, fixe des dispositions spécifiques pour les locaux concernant leur conception et leur agencement, et des dispositions applicables aux équipements concernant leur nettoyage et leur désinfection.

2.2. La démarche HACCP

Les accidents alimentaires et les altérations des produits sont souvent dus à des précautions d'hygiène insuffisantes, des négligences ou même une absence totale d'hygiène.

Afin de prévenir une contamination du produit, un système de maîtrise de l'hygiène est mis en place [105].

Le système HACCP (ou analyse des dangers pour la maîtrise des points critiques) est un outil d'investigation qui permet d'examiner les différentes étapes du ou des protocoles utilisés et d'identifier celles qui sont critiques pour l'innocuité du produit alimentaire qui sera par la suite fabriqué [106].

Tout protocole de nettoyage et de désinfection et son environnement doit être analysé pour identifier les lieux, les pratiques, les procédures, où la croissance, la survie et /ou la contamination peuvent survenir [106].

Les opérations de nettoyage et de désinfection en industries agro-alimentaires bien conduites permettront l'obtention de surfaces non contaminantes [105] :

- Absence de résidus physiques (propreté visuelle),
- Absence de flore microbienne résiduelle susceptible de contaminer les aliments fabriqués (propreté microbiologique),
- Absence de produits chimiques (détergents, désinfectants) à risque toxique (propreté chimique), tout en maintenant un parfait état d'intégrité, absence de corrosion ou de dégradation des supports.

2.2.1. Principes de la méthode HACCP

La méthode H.A.C.C.P. comporte sept principes [71] :

- Identification des dangers au niveau du processus, de l'environnement de la fabrication, du nettoyage et de la désinfection où la survie ou la multiplication de micro-organismes indésirables peut survenir.
- Détermination des points de maîtrise essentiels ou points critiques (CCP) permettant d'éviter les dangers identifiés.
- Déterminer les limites critiques (qui séparent l'acceptable et l'inacceptable) et établir des niveaux cibles et/ou tolérances qui permettent d'assurer que le CCP est atteint.
- Surveillances pour s'assurer qu'à chaque CCP les facteurs préétablis sont respectés.
- Définition des actions correctives en cas de dérive des actions de maîtrise des CCP.
- Etablissement des procédures pour la vérification qui incluent des tests supplémentaires et qui assurent que le système HACCP existe et est efficace.
- Etablir un système documentaire concernant toutes les procédures et enregistrements appropriés à ces principes et à leur application.

2.2.2. Maîtrise de l'hygiène des surfaces suivant la démarche HACCP [71]

La démarche HACCP appliquée au nettoyage et à la désinfection permet de prévenir l'apparition des problèmes particuliers, sans attendre des résultats a posteriori.

L'utilisation de cette démarche (tableau 4) doit permettre aux entreprises agro-alimentaires ou aux entreprises prestataires de services de maîtriser, de surveiller, de corriger et de valider les protocoles de nettoyage et de désinfection d'une manière raisonnée, pragmatique et apte à prendre en compte les évolutions futures.

Tableau 4 : Maîtrise de l'hygiène des surfaces selon les démarches HACCP [26]

Diagramme des opérations (Décomposer, comprendre et valider)	<ul style="list-style-type: none"> - Protocoles de nettoyage/désinfection. - Par atelier, par zone à risque. - Environnement du nettoyage.
Analyse des dangers (Identifier les dangers)	<ul style="list-style-type: none"> - Matière : Souillures (qualité, quantité, etc.). - Matériels : matériels de nettoyage-désinfection, produits, eau, etc. - Mains d'œuvre : Personnel. - Méthodes : Opération de nettoyage-désinfection. - Milieu : Locaux, surfaces des équipements, air, etc.
Maîtrise des points critiques (Elaborer un plan de maîtrise)	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage/désinfection : Choix des méthodes, mode opératoire, produits utilisé (température, temps de contact, concentration, fréquence, moment d'intervention). - Matériel : Nettoyabilité, accessibilité, état d'usure. - Hygiène du personnel. - Environnement : déchets, effluents, épuration.
Plan de surveillance (Garantir la répétition du nettoyage)	<ul style="list-style-type: none"> - Visuelle. - ATPmétrie, microbiologique. - Chimique.
Plan de vérification/validation	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification des conditions d'exécution. - Vérifier le professionnalisme des opérateurs. - Suivre les variations de l'état des surfaces. - Audits internes et externes.

En conclusion, si on applique cette technique correctement, elle peut prévenir l'existence de problèmes dès le départ, au lieu de se fier à des tests sur le produit fini et espérer que si quelque chose se passe mal, on le découvrira. Elle oriente les moyens techniques vers les points critiques et leur maîtrise.

2.3. Organisation des opérations de nettoyage et de désinfection dans l'abattoir de volailles [71]

Il serait non fondé d'imposer les mêmes procédures de nettoyage et de désinfection pour le quai de déchargement des volailles et pour les salles de conditionnement des produits finis.

Cette réflexion pourrait se résumer ainsi:

" Bien faire ce qu'il faut faire, mais ne faire que ce qu'il faut".

Dans cette optique, on classe les locaux et les équipements en fonction des risques hygiéniques encourus.

2.3.1. Notion de zones à risque [71]

Dans la filière viandes de volailles on peut distinguer 4 degrés de risques.

- Les zones à risque 1 (zone à risque faible) sont par exemple les bureaux, les vestiaires, les silos, les stabulations, les quais de réception de matières premières emballées, les quais d'expédition de produits finis.

Le niveau qualitatif à atteindre est la propreté visuelle dans ce cas, le protocole de nettoyage concerne simplement des opérations de nettoyage, de détergence (du type nettoyage traditionnel).

- Les zones à risque 2 (zone à risque moyen) qui peuvent être les ateliers de première transformation, les zones d'abattages, les frigos, les vestiaires, locaux de pause en production, etc.

Le niveau qualitatif à atteindre est la propreté visuelle et microbiologique, on retiendra pour le nettoyage et la désinfection de ces zones à risque, des protocoles en trois points ; à savoir : pré-nettoyage, détergence et désinfection associées, rinçage final.

- Les zones à risque 3 (zone à risque élevé) qui peuvent être les ateliers de deuxième transformation dans lesquels s'effectuent des activités de découpe, de salaison, etc.

- Les zones à risque 4 (zone à risque très élevé) qui concernent les ateliers de conditionnement primaire du produit fini, à savoir l'activité technologique la plus à risque pour le produit ; ces opérations pouvant être réalisées en salle blanche ou dans des zones à empoussièremement maîtrisé.

Dans les zones à risque 3 et 4, les protocoles de nettoyage et de désinfection s'orientent alors vers des protocoles en 5 points : pré-nettoyage, détergence aléatoire, rinçage intermédiaire, désinfection séparée et terminale et rinçage final avec bien souvent assèchement des surfaces.

Un atelier classé en zone 1 peut être ponctuellement traité suivant le protocole applicable en zone 2 si les résultats de contrôle ne sont pas bons. De même, les fréquences de nettoyage proposées sont à adapter. L'application de la méthode H.A.C.C.P. par le personnel des équipes de nettoyage et de désinfection doit permettre de faire évoluer les protocoles dans le sens de la qualité.

2.3.2. Fréquence des opérations [92]

La directive 92/116/CEE du Conseil, du 17 décembre 1992, fixant les conditions sanitaires auxquelles doivent satisfaire les établissements d'abattage de volailles [165], stipule que le matériel et les instruments utilisés pour la manipulation des volailles vivantes et le travail des viandes fraîches de volaille doivent être maintenus en bon état d'entretien et de propreté. Ils doivent être soigneusement nettoyés et désinfectés plusieurs fois au cours d'une même journée ainsi qu'à la fin des opérations de la journée et avant d'être réutilisés lorsqu'ils ont été souillés.

En pratique, La désinfection est assurée systématiquement :

- au moins une fois par jour pour les machines, les récipients divers, les outils et les tables de découpe ;
- chaque semaine ou plus souvent si nécessaire pour les sols, les parties basses des murs et les chambre de réfrigération ;
- une fois par mois pour les parties hautes des locaux ;
- deux fois par an pour les murs ;
- chaque fois qu'une maladie contagieuse est observée.

- **Nettoyage seul ou nettoyage et désinfection en continu**

La chaîne de convoyage des volailles passe à chaque tour entre deux brosses rotatives sous un jet d'eau sous pression, ce qui élimine toutes les souillures macroscopiques. De même, de nombreux automates sont rincés efficacement après chaque carcasse.

La désinfection permanente de certains tapis ou bandes transporteuses se pratique couramment. Cela ne pose aucun problème majeur pour les tapis en acier à condition de procéder à un raclage

préalable et à un séchage avant réutilisation. Pour certains tapis en téflon il est possible de procéder à un raclage suivi d'une désinfection à la vapeur (110-120°C) et d'un refroidissement à l'eau.

- **Matériel nettoyé et désinfecté systématiquement après usage**

Il s'agit par exemple:

- des camions de ramassage des volailles vivantes, cages, conteneurs de ramassage,
- des bacs reçus des équarrisseurs, qui doivent être nettoyés et désinfectés après chaque usage,
- des cagettes à abats,
- des bacs à cous, têtes ou pattes,
- des chariots,
- du matériel de nettoyage (brosses, raclettes, seau, poubelles, etc.).

- **Nettoyage et désinfection biquotidiens ou multiquotidiens**

Le bac d'échaudage peut être vidé à la pause, nettoyé et désinfecté. Cela nécessite une réserve d'eau chaude en conséquence. Quant aux plumeuses, le montage d'une pompe doseuse de détergent-désinfectant, en dérivation avec un by-pass sur le réseau d'eau situé au dessus des plumeuses permet à la pause de procéder à une action détergente-désinfectante avec rinçage terminal avant la remise en marche de la chaîne. Ceci réduit considérablement la charge microbienne.

Les petits outils sont, au cours du travail, aussi souvent qu'il le faut et notamment quand ils ont été souillés, nettoyés puis plongés dans des bacs stérilisateur contenant de l'eau à 82°C au minimum ou une solution de désinfectant.

- **Nettoyage et désinfection quotidiens, hebdomadaire ou mensuel [48]**

Une fois par jour, à la fin des opérations d'abattage, le matériel fixe et les locaux doivent être nettoyés et désinfectés. Ce grand principe tolère quelques aménagements imposés par la nécessité de productivité et de rentabilité de l'entreprise.

Ainsi par exemple:

- Le quai de réception des volailles est lavé à l'eau sous haute pression tous les jours mais nettoyé et désinfecté seulement une fois par semaine.

- Dans les chambres froides de ressuyage et d'entreposage, le sol est lavé entre chaque lot pour éliminer les gouttes de sang. Les évaporateurs et les murs ne peuvent pas être nettoyés quotidiennement pour des raisons techniques; la fréquence est alors d'une fois par semaine à une fois par mois (avec démontage si besoin est) en fonction des contrôles bactériologiques. Le mieux est d'assurer une rotation avec nettoyage complet et désinfection totale compatibles avec les installations et le bon fonctionnement de l'entreprise.

- Les chambres froides des produits emballés sont nettoyées et désinfectées tous les mois.

2.4. Choix de l'équipe de nettoyage et désinfection [71]

La formation du personnel à l'hygiène de l'abattoir de volailles et à l'utilisation du matériel de nettoyage fait partie intégrante de la formation professionnelle, et elle joue un rôle très important dans la qualité du nettoyage-désinfection des surfaces.

Trois types d'organisation peuvent être envisagés, en fonction de la taille et des choix de l'entreprise.

- Une partie ou la totalité du personnel réalise cette opération, après sa journée de travail cette solution devrait permettre aux employés de se sentir plus concernés, mais cette tâche est alors fréquemment perçue comme une contrainte.

- Une équipe indépendante, mais faisant partie intégrante de l'entreprise, intervient le soir ou quelques heures avant la fin des opérations de façon à ne pas être totalement écartée de l'équipe de production.

Ces deux premières solutions peuvent également être combinées : le lavage grossier, l'entretien du poste de travail, sont confiés aux personnes de l'équipe de production, les opérations de nettoyage et de désinfection étant du ressort d'une équipe compétente.

- Une équipe recrutée par une société extérieure prestataire de service, réalise les opérations telles qu'édictees dans le contrat établi entre les deux partenaires.

Cette troisième solution tend à se développer, car la tâche à accomplir est bien définie ; il conviendrait cependant de laisser au personnel de l'équipe de production le soin du rangement et du pré nettoyage de son poste de travail de manière à éviter une démotivation sur le plan de l'hygiène.

Une bonne organisation des opérations de nettoyage et de désinfection ne suffit pas; il faut être aussi en mesure de contrôler par des méthodes validées que l'on a bien atteint le degré de propreté physique, chimique et biologique recherché.

3. CONTROLE DES OPERATIONS DE NETTOYAGE ET DE DESINFECTION

3.1. Contrôle de la réalisation des opérations de nettoyage et de désinfection [65]

Cette étape est d'autant plus importante que le personnel est peu ou pas formé. La responsabilité en incombe au chef d'équipe. Pour que tout soit fait correctement et soit facilement contrôlable, il suffit de respecter ce grand principe: "Faire ce qui est écrit et écrire ce que l'on fait". Le personnel doit donc suivre les indications du responsable de l'hygiène et confirmer par écrit la bonne réalisation de chaque étape.

3.2. Contrôle visuel de l'état de propreté des locaux et du matériel [65]

Un contrôle visuel est réalisé systématiquement par le responsable du service de nettoyage mais aussi par la hiérarchie de façon inopinée. Cet examen ne permet pas de contrôler la propreté microbiologique.

3.3. Appréciation de l'état de propreté par ATPmétrie

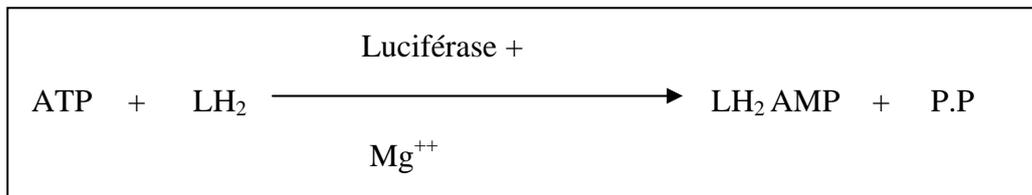
3.3.1. Principes

La quantité de lumière émise est proportionnelle à la quantité d'ATP présente dans l'échantillon, elle-même corrélée à la quantité de résidus alimentaires sur le site de production [60].

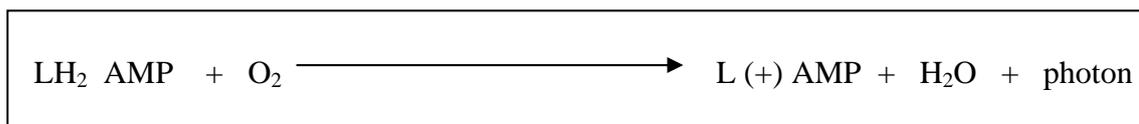
L'ATP (Adénosine 5 Tri phosphate) est le carburant de toute cellule animale, végétale, bactérienne ou fongique. Les résidus alimentaires sont riches en ATP. L'essentiel de l'ATP présent sur les surfaces de matériel est dû à ces résidus ou souillures [46]. L'ATP est mesurée par bioluminescence, phénomène généré par la réaction de l'ATP avec la luciférase, une enzyme extraite de la luciole sur un substrat de luciférine. Cette réaction produit de la lumière que l'on détecte au moyen d'un luminomètre [38].

La réaction est déclenchée par injection du mélange luciférine-luciférase dans le milieu contenant ATP, il existe deux phases [55] :

- Activation de la luciférine LH₂ avec formation de Luciféryl-adénylate et libération de pyrophosphate



- Oxydation de ce complexe en présence d'oxygène qui donne l'oxyluciférine dans un état excité, avec décarboxylation. Le retour à l'état électronique stable s'accompagne d'émission de lumière.



L'émission lumineuse est proportionnelle à la quantité d'ATP présente dans l'échantillon.

3.3.2. Intérêt

Les résultats sur la propreté des installations sont obtenus rapidement sur le site et d'éventuelles actions correctives peuvent être mises en oeuvre immédiatement. Les points détectés sales peuvent être renettoyés avant l'utilisation du matériel, ce qui permet d'éviter le gaspillage de produits, de temps et d'énergie [60].

On peut aussi voir dans cette technique un moyen de motivation du personnel: comme les équipes de nettoyage savent que le résultat de leur travail va être connu rapidement, peut-être même en leur présence, le nettoyage sera probablement réalisé de manière plus soignée [55].

3.3.3. Limites

L'ATPmétrie, outre son coût élevé, ne permet pas de distinguer l'ATP d'origine microbienne de l'ATP organique, ni de préciser l'identité des micro-organismes. Les méthodes traditionnelles de contrôle microbiologique ne sont donc pas superflues [60].

L'efficacité du nettoyage, et donc la mesure d'ATP, dépend de facteurs tels que la nature, la quantité et le degré d'assèchement des souillures à éliminer, mais également de la nature et de l'usure des supports sur lesquels elles adhèrent, ainsi que de la pression et de la température de l'eau utilisée. Ces facteurs ne sont pas indépendants entre eux, leurs interactions expliquant la nécessité pour chaque entreprise de fixer ses propres valeurs de référence en fonction des produits qu'elle travaille et des matériels utilisés. Ces valeurs de référence pourront servir au contrôle de l'efficacité de la phase de nettoyage et d'éventuellement de permettre d'optimiser les procédures utilisées [55].

L'ATPmétrie étant basée sur une réaction enzymatique, elle peut donc être influencée par la présence de substances chimiques susceptible de modifier le pH ou d'interférer directement avec l'ATP. Une étude réalisée en laboratoire sur les effets des détergents et désinfectants sur les mesures d'ATP montrent ainsi que ces mesures sont affectées par les concentrations des produits de nettoyage-désinfection. Ces résultats montrent que les interactions entre l'ATPmétrie et les détergents et désinfectants ne doivent pas être exclues, malgré les précautions prises par les constructeurs grâce à l'adjonction d'un neutralisant dans la solution tampon enzymatique [78].

3.4. Contrôles microbiologiques

Les objectifs de ces contrôles sont de:

- vérifier l'efficacité des opérations de nettoyage et de désinfection,
- vérifier que la biocontamination des surfaces a été amenée en deçà des valeurs seuils prévues.

Ces vérifications permettent de valider ou non le travail effectué.

3.4.1. Appréciation de la contamination du matériel et des surfaces [94]

Il faut procéder à ce contrôle deux fois par semaine sur les matériels sensibles (bandes transporteuses, doigts de la plumeuse), une fois par semaine sur les autres (bacs, murs). Il faut lister les points sensibles. Suivant les résultats on peut et, mieux, on doit moduler la fréquence des contrôles. Selon la réglementation française [85], un contrôle devrait être réalisé toutes les 2 semaines au moins (ou tous les 10 jours d'activité et au moins une fois par mois).

On peut procéder soit à des contrôles qualitatifs (recherche de salmonelles par exemple), soit à des contrôles quantitatifs (quantité totale de germes au centimètre carré), soit, et c'est le plus fréquent, aux deux contrôles simultanément. Les contrôles bactériologiques, y compris les prélèvements, doivent être effectués par un personnel spécialisé.

3.4.2. Évaluation de la contamination aéroportée

On parle d'aérobiocontamination. La recherche de la contamination aérienne est encore peu fréquente dans les industries de la volaille. Elle ne présente un réel intérêt que dans le secteur propre et au niveau de la préparation et du conditionnement des produits crus élaborés [80].

L'air peut être un vecteur actif de la contamination dans la mesure où il peut transporter des micro-organismes d'un lieu contaminé vers un lieu peu ou pas contaminé. L'air est aussi un vecteur passif des contaminants microbiens. Il va se charger progressivement en germes au contact des surfaces contaminées [87, 12].

Les principales techniques d'évaluation de la contamination aéroportée sont rapportées dans le tableau 15 (Annexe 3)

3.4.3. Recherche quantitative

L'appréciation de la décontamination n'est plus subjective ni qualitative; elle devient chiffrée et objective. Une propreté apparente correcte ne correspond pas toujours à une réelle décontamination [12].

3.4.3.1. Méthodes directes

- Boîtes RODAC (Replicate Organism Detection and Counting) :

On utilise le plus souvent des boîtes de pétri de 55 mm de diamètre, à fond quadrillé pour faciliter la lecture des résultats. Leur conception est particulière dans la mesure où le couvercle repose sur un épaulement permettant ainsi de ménager un espace entre le bord du fond et la surface interne du couvercle [26, 87].

Elles sont disponibles précoulées, généralement avec un milieu PCA pour flore totale mais on peut aussi préparer avec un autre milieu. Dans ce cas, on répartit le milieu dans la boîte, stérilement, en prenant soin de former un ménisque qui constituera la surface d'analyse après refroidissement. Après complète solidification et refroidissement, les boîtes peuvent être utilisées. Pour cela, on applique la gélose sur la surface à tester en veillant à standardiser les conditions de contact : temps de contact (30 secondes à 2 minutes) et intensité d'application. On peut pour cela utiliser par exemple un poids de 200 grammes [26, 87].

La boîte ne doit pas être glissée sur la surface à étudier. Les boîtes sont, après remise en place du couvercle, incubées et conservées de façon à effectuer le comptage avant que les colonies deviennent confluentes. Les résultats sont exprimés en nombre d'UFC par cm^2 de la surface examinée [59].

Quelques précautions sont à prendre si on tient à tirer des informations quantitatives fiables [59]:

- Utiliser le même milieu gélosé et avoir une surface de gélose de qualité égale (notamment humidité constante).
- Intégrer dans le milieu de culture une substance ou un mélange de substances neutralisant les traces de désinfectant qui inhiberaient la croissance des germes (le rinçage final obligatoire est rarement exécuté); ceci évite les faux résultats négatifs.

- Les lames gélosées :

Elles sont une adaptation du système RODAC. Sur les deux faces d'une lame souple sont fixés deux milieux de culture (ex : PCA pour la flore totale, Mac Con Key pour les coliformes) [26].

Elles peuvent être appliquées au contrôle microbiologique des surfaces soit directement, par contact entre le milieu gélosé et la surface à contrôler, soit indirectement après écouvillonnage, la lame gélosée servant à dénombrer la flore du liquide après mise en suspension des germes prélevés par l'écouvillon [87].

Toutes les combinaisons de milieux sont possibles. Après application des deux faces de lame, celle-ci est incubée dans son étui protecteur. La surface de contact de chaque coté de la lame est de 10 cm². Le résultat peut donc être évalué par cm². Il est à noter que certains fabricants proposent ces lames avec des milieux de culture additionnés de neutralisant (lécithine et Tween 80) [26].

- Le pétrifilm [87] :

Le pétrifilm est un système de dénombrement microbien mettant en œuvre un milieu de culture (PCA) conditionné entre deux films souples. Le milieu déshydraté adhère à l'un des films.

Pour le contrôle des surfaces, il doit être au préalable réhydraté par addition d'une eau distillée stérile ou d'une solution stérile à 0.1 % de lécithine, et 0.5% de polysorbate 80 (agent de neutralisation des désinfectants).

Après 15 minutes, le gel obtenu peut être appliqué sur la surface à contrôler avec une légère pression du doigt. L'autre film sert de support à un agent gélifiant et à un colorant (le chlorure de triphényltétrazolium) qui donne une coloration rouge aux colonies. Lors de l'incubation, les micro-organismes se développent entre les deux films, ce qui limite les envahissements fréquemment observés sur les milieux gélosés des techniques précédentes.

3.4.3.2. Méthodes estimatives

- Techniques par écouvillonnage :

Cette technique s'applique à tous les types de surface. Elle permet, en particulier, la mise en évidence des « nids microbiens » pouvant se former dans les recoins ou cavités ou sur les surfaces bombées [59].

A l'aide d'un écouvillon de coton, stérile et humide, on balaie la surface à analyser (généralement 10 cm²). Pour standardiser la technique, on peut délimiter la surface contrôlée avec des outils circulaires ou rectangulaires facilement stérilisables (inox). L'écouvillon est ensuite transféré dans un volume déterminé de liquide de dilution stérile. Il s'agit d'une solution tamponnée pouvant renfermer des agents de neutralisation des désinfectants (Lécithine, Tween 80) [87].

Différentes techniques sont alors applicables à l'analyse microbiologique de la suspension ainsi obtenue [26, 87] :

- numération en milieu gélosé ensemencé par la technique classique de dilution-inclusion ou dilution-étalement ;
- filtration sur membrane ; utilisation d'un ensemenceur « spiral » ;
- utilisation du pétrifilm.

La méthode est peu précise mais conserve les aspects quantitatifs et qualitatifs. Pour que les résultats soient reproductibles, il doit être réalisé de façon la plus standardisée possible, par un même manipulateur [26].

- Technique par rinçage :

Ces techniques s'utilisent généralement lorsqu'il n'existe pas d'autre possibilité [87].

Elles sont bien adaptées au contrôle microbiologique des récipients et des circuits. Elles consistent à faire circuler un liquide stérile au contact des surfaces à contrôler puis on le soumet à l'analyse bactériologique [87, 59].

- Méthodes par coulage [87]

Stérilement l'opérateur coule le milieu de culture, fondu puis stabilisé à 45°C sur la surface à contrôler. En se refroidissant, le milieu se fixe sur les surfaces. Il suffit de compter, après incubation correcte, les colonies qui se sont développées.

Cette technique permet en particulier de contrôler les petits récipients que l'on pourra ensuite porter à incubation. Elle est difficilement applicable aux surfaces de travail.

Les méthodes par coulage sont les plus quantitatives. Chaque bactérie (ou microcolonie) présente pourra donner naissance à une colonie.

3.4.3.3. Interprétation des résultats du contrôle microbiologique

Il convient d'être très prudent dans l'interprétation et l'utilisation des résultats obtenus lors du contrôle microbiologique pour deux raisons [12, 91] :

- faible répétabilité et reproductibilité des méthodes. La plupart des méthodes présentées souffrent d'un manque de répétabilité lié à la technique de prélèvement et la rugosité des surfaces. Pour effectuer la comparaison des résultats, il faut utiliser les mêmes méthodes et les mêmes opérateurs de même niveau de formation.
- faible efficacité des méthodes. Il faut savoir que les techniques d'évaluation de la contamination des surfaces ne mettent pas en évidence 100% des contaminants présents. On considère que, sur une surface en acier inoxydable de rugosité moyenne de 0.8µm, 20 à 30 % des germes présents sont récoltés par les techniques de la boîte contact et 30 à 40 % par l'écouvillonnage. Ces faibles taux de récupération sont liés d'une part à la rugosité des surfaces et d'autre part à l'adhésion de ces micro-organismes.

En conclusion, tout est dans la mesure et l'appréciation des risques suivant le matériel considéré (en contact ou non avec les denrées). L'équipe de nettoyage-désinfection est tenue à l'obligation de résultat par rapport au cahier des charges. Un système de primes et de pénalités pourra être envisagé.

PARTIE EXPERIMENTALE

Objectifs :

Les exigences croissantes en matière de sécurité des aliments ainsi que les démarches d'assurance qualité ont conduit les industries agroalimentaires à une réalisation rigoureuse des opérations de nettoyage et de la désinfection des locaux et du matériel afin d'éviter les toxi-infections alimentaires collectives, les pertes pour cause d'altération, et surtout la diminution importante de la durée de conservation de ces aliments.

Ces exigences impliquent également un contrôle régulier de l'efficacité de ces opérations, pour lequel les industriels du secteur abattage-découpe disposent d'un certain nombre de méthodes de contrôle microbiologique. Ce contrôle peut être un moyen de les optimiser, tout en motivant les responsables des abattoirs au respect des bonnes pratiques d'hygiène.

Notre étude qui s'est déroulée sur deux périodes, novembre 2007 et janvier 2008, au niveau de l'abattoir de volailles de Taboukert (Wilaya de Tizi-Ouzou) a visé les objectifs suivants :

- déterminer la corrélation entre l'ATPmétrie et le dénombrement de la flore totale, et fixer un seuil d'acceptabilité des résultats d'ATPmétrie spécifique à l'abattoir de volailles Taboukert utilisant pour cela l'ATPmètre « LUMITESTER PD-10 ».
- juger la conformité du nettoyage et de la désinfection du matériel en contact direct avec les carcasses sur dix sites préétablis. Notre étude a porté sur **398** échantillons issus des deux méthodes précitées qui sont considérées comme indicatrices du niveau général d'hygiène de la filière alimentaire [8].
- proposer une méthodologie de contrôle du nettoyage et de la désinfection en abattoir de volailles.
- analyser les procédures de nettoyage-désinfection telles que pratiquées et apporter des corrections.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Présentation et choix de l'abattoir

L'étude a été réalisée dans un des abattoirs de volailles de la région centre du pays dont sa production est destinée à une grande partie de la population de la wilaya de TIZI-OUZOU et à quelques entreprises étatiques.

Cet abattoir, dit Taboukert, est une unité étatique dépendante de l'Office Régionale Avicole du Centre (ORAC), situé à l'Est, à 18 Kilomètres de Tizi-Ouzou sur la route nationale N° 12. Il a été fabriqué en mars 1993, avec une capacité de 3000 sujets par heure, dont la production a dépassée dans ces dernières années 7 350 Tonnes de Poulet/an.

Les locaux de production de cet abattoir se composent de quatre salles qui sont conçues et adaptées aux opérations d'abattage et de conservation. Leur situation, leur conception et leur construction sont adaptées aux exigences de qualité de l'activité concernée et aux conditions de travail du personnel, mais ils ne permettent pas le respect des procédures d'hygiène.

Le choix de l'abattoir Taboukert est fondé sur les raisons suivantes :

- Equipé d'une chaîne d'abattage complète.
- Applique les procédures de nettoyage et de désinfection.
- Equipé d'un laboratoire d'analyses microbiologique et physicochimique, ce qui nous a permis d'effectuer facilement nos analyses après prélèvements.

1.2. Matériel et méthodes d'échantillonnage

1.2.1. Matériels d'analyses

1.2.1.1. Matériels d'analyses microbiologiques pour le dénombrement de la flore totale

Le matériel que nous avons utilisé pour les prélèvements est composé de :

- Ecouillons stériles.
- Gabarits spécifiques de 10 cm² pour chaque surface : (annexe 4).
- Alcool.
- Chalumeau à gaz.
- Gants stériles.

Les analyses microbiologiques sont réalisées au laboratoire de l'abattoir Taboukert, divers matériels ont été utilisés :

- Matériel de stérilisation composé d'un autoclave et d'un bec bunsen.
- Hotte à flux laminaire pour la protection de la manipulation.
- Une étuve à 30°C.
- Un bain-marie et le bec bunsen pour régénérer le milieu de culture semi-solide afin de le couler dans des boîtes de pétri.
- Divers matériels de verreries tels que les pipettes graduées à 1ml et 10ml, des tubes à essai.
- Des boîtes de pétri.
- Des portoirs.
- Milieux de culture : PCA, TSE.
- Deux réactifs : lécithine et Tween 80.

1.2.1.2. Matériels d'analyses ATPmétriques

L'ATPmètre ou bioluminomètre portatif utilisé : « LUMITESTER PD-10 » (figure 2), donne directement une valeur qui correspond à la présence de souillure organique ou d'agents microbiens allant de 0 à 999.999 URL (unités relatives de lumière) avec un bruit de fond de 50 URL et un niveau de détection de 10^{-15} moles d'ATP, le chiffre le plus élevé correspondant à l'état le plus « sale ».

L'appareil mesure la quantité de photons émise lors de la réaction entre l'ATP et le complexe enzymatique luciférine/luciférase.

Le matériel utilisé pour les prélèvements est le même que celui utilisé pour les prélèvements dans la première méthode, sauf que les écouvillons dans ce cas se présentent sous forme de stylo-test prêt à l'emploi (figure 2), ces écouvillons « Lucipac W » du Kit : LWF1842 sont commercialisés par Kikkoman Corporation-J.



Figure 2 : ATPmètre « LUMITESTER PD-10 »
et un écouvillon « Lucipac W ».
(Photo personnelle)

1.2.2. Sites et nombre de prélèvements effectués

Pour des raisons pratiques, les prélèvements ont été effectués trois heures après les opérations de nettoyage et de la désinfection pour permettre aux surfaces à tester de sécher.

Les deux méthodes de contrôle sont appliquées sur dix sites, à raison de vingt échantillons par site et par méthode, ils sont répartis dans deux salles de l'abattoir.

Le choix des sites a été motivé par :

- leur contact direct avec les carcasses au cours des opérations d'abattage.
- la nature des matériaux des principaux équipements : acier inoxydable, PVC, Téflon et élastomère.

Les sites de prélèvement, classés selon les étapes d'abattage, sont :

- 1 - La lame des couteaux de la saignée et couteaux fendeurs d'abdomen.
- 2 - Les parois internes du bac d'échaudage.
- 3 - Les doigts plumeurs de la plumeuse.
- 4 - Les tubes de guidage de l'arrache-têtes.
- 5 - La cuillère de l'éviscéreuse.
- 6 - La lame du craqueur de cou.
- 7 - La tuyère de la laveuse interne.
- 8 - La glissière pour carcasses.
- 9- La bande transporteuse de carcasses.
- 10 - Les paniers transporteurs de carcasses.

199 échantillons, pour chacune des deux méthodes provenant des dix sites, ont été réalisés.

Ils sont complétés par des analyses microbiologiques et de mesure de la dureté de l'eau.

1.2.3. Mode de prélèvement des échantillons

Concernant la première méthode, les échantillons ont été prélevés selon les dispositions de la réglementation française [85] par la technique de l'écouvillonnage humide d'une surface de 10 cm² [52] délimitée par un gabarit stérile spécifique pour chaque surface, Ces écouvillons se présentent sous forme de cotons-tiges stériles protégés par des étuis plastiques.

Cette technique comprend les étapes suivantes :

- ouvrir le tube, sortir l'écouvillon,
- humidifier l'écouvillon dans un millilitre de solution Na Cl peptone à 0,1% (TSE), 30 g/l de Tween 80 et 3 g/l de lécithine ont été ajoutés à la solution d'humidification des écouvillons comme neutralisants.
- écouvillonner la surface à tester en frottant dix fois verticalement et dix fois horizontalement en appuyant fermement sur la surface tout en tournant l'écouvillon dans les deux sens, l'angle de prélèvement est de 45°, une pression constante a été appliquée pendant la totalité du prélèvement [85].
- replacer soigneusement l'écouvillon dans l'étui en évitant qu'il ne frotte sur les parois sans toucher l'ouverture de l'étui.
- noter sur l'étui la date du prélèvement et le type de surface.

Immédiatement après l'opération, les échantillons sont placés dans une enceinte réfrigérée type glacière portable puis acheminés au laboratoire qui se trouve au niveau du même abattoir pour les conserver dans un réfrigérateur à 4 °C afin que nous puissions les analyser le lendemain matin après leur préparation.

Pour les échantillons d'ATPmétrie, ils sont prélevés par écouvillonnage d'une surface de 10 cm² à l'aide d'un gabarit spécifique pour chaque surface.

La technique est la suivante :

- retirer l'écouvillon de l'étui et l'humidifier dans la même solution neutralisante (de rinçage) utilisée dans la première méthode.
- écouvillonner la surface à tester de la même manière que celle de la première méthode,
- remettre l'écouvillon dans son étui et enfoncer l'écouvillon dans le stylo pour percer la capsule et mettre en contact le mélange luciférine-luciférase et l'écouvillon. Afin d'homogénéiser le milieu, secouer le stylo énergiquement dix fois au minimum.

Chaque gabarit est fabriqué en fer galvanisé et en cuivre. Il délimite 10cm² et prend la forme d'une partie de la surface à tester pour que nous puissions maintenir la même pression exercée sur toute la surface (figure 3). Le gabarit utilisé pour les prélèvements sur les doigts plumeurs a une forme spécifique pour fixer le doigt avant de procéder au prélèvement (figure 3C).

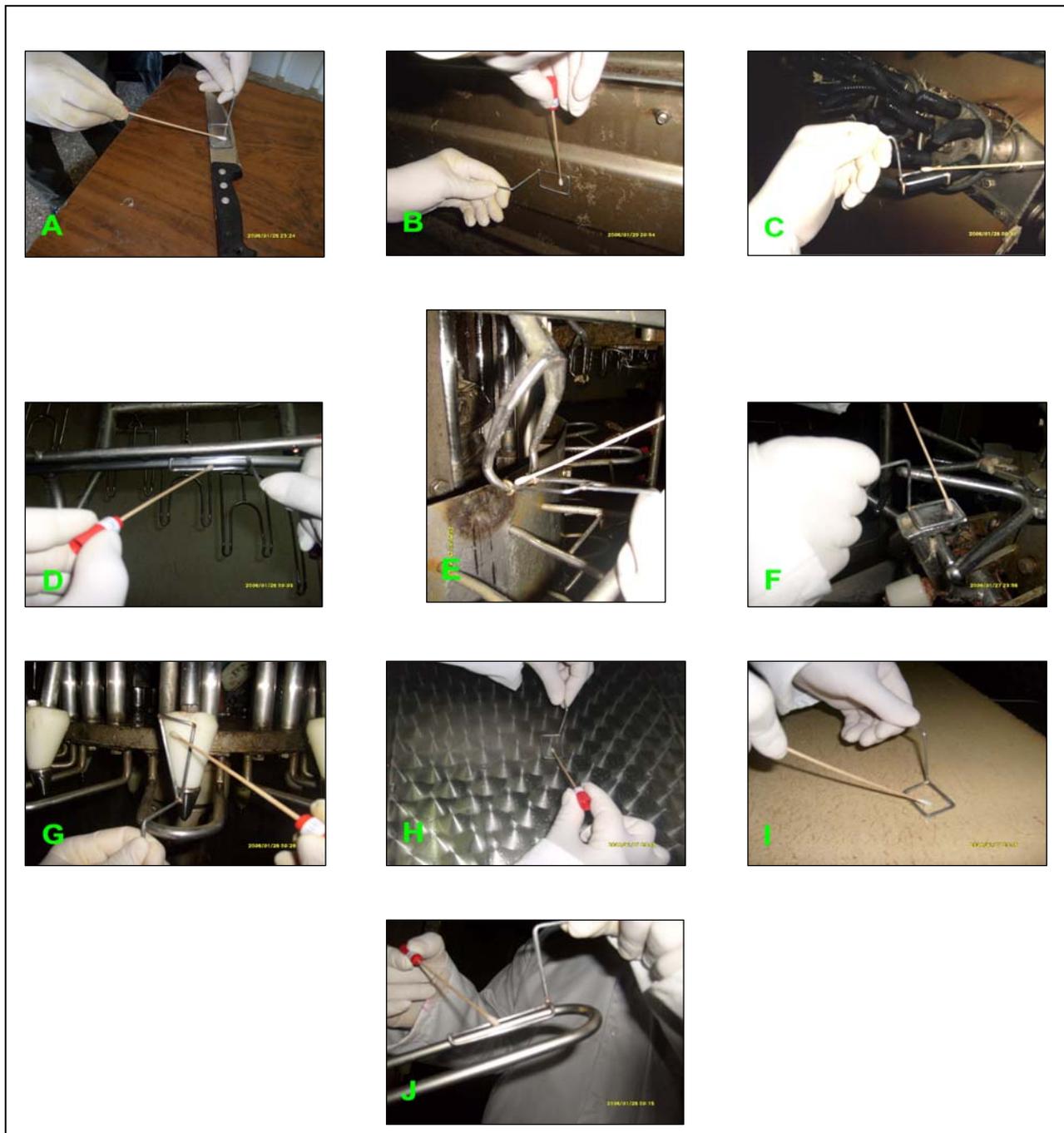


Figure 3 : Technique de prélèvements sur les dix surfaces choisies. (Photos personnelles)

A : Lame d'un couteau. **B** : Paroi interne du bac d'échaudage. **C** : Doigt plumeur.

D : Arrache-têtes. **E** : Cuillère d'éviscéreuse. **F** : Lame d'un craqueur de cou.

G : Laveuse interne. **H** : Glissière. **I** : Bande transporteuse. **J** : Panier transporteur de carcasses

Afin de standardiser les résultats, la totalité des prélèvements et les comptages des colonies ont été réalisés par le même opérateur, et pour chaque site de prélèvement défini, les deux méthodes sont appliquées sur des zones très proches.

1.3. Techniques analytiques pour le contrôle de la conformité du nettoyage-désinfection

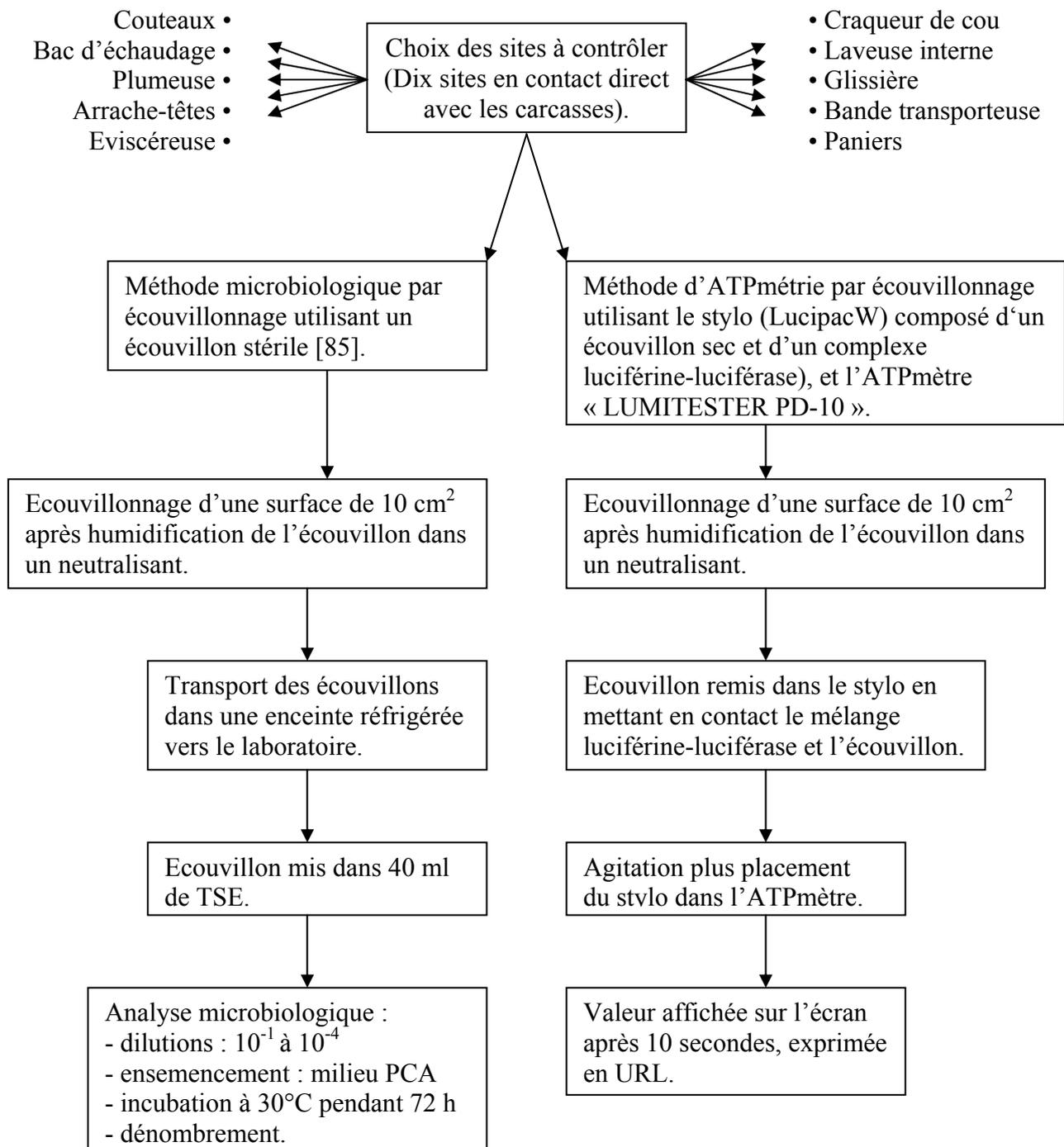


Figure 4 : Protocole d'analyses microbiologiques et d'ATPmétrie effectuées.

1.3.1. Préparations des échantillons

Les échantillons de la méthode microbiologique sont préparés conformément à la réglementation française : note de service n°2007-8275 du 14 novembre 2007 [85]. Toutes les opérations se déroulent à proximité du bec bunsen.

Chaque écouvillon a été collecté dans un flacon contenant 40 millilitres de solution TSE. Ce flacon a été secoué vigoureusement avant la dilution [85].

A partir de cette solution mère, des séries de dilutions décimales sont réalisées conformément à la norme ISO 6887-1 relatives aux règles générales pour la préparation de la suspension mère et des dilutions décimales [57]. En effet, 1 ml de la solution mère à 10^0 est transvasé dans un tube à essai contenant 9 ml de solution TSE pour obtenir le titre 10^{-1} et ainsi de suite jusqu'à la dilution voulue qui est 10^{-4} .

1.3.2. Dénombrement de la flore totale par écouvillonnage

Les échantillons ont été soumis au dénombrement de la flore aérobie mésophile totale conformément à la norme AFNOR NF V 08-051 relative au dénombrement des micro-organismes « méthode par comptage des colonies obtenues à 30°C » [4].

Un millilitre de la solution mère et des dilutions successives est mis en culture en profondeur dans une boîte de pétrie stérile, on lui ajoute 15 ml de milieu de culture (PCA) en surfusion à 47°C , on laisse solidifier le mélange sur paillasse, puis on rajoute une deuxième couche d'environ 4 ml de la même gélose. Cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations diverses.

L'incubation est faite à 30°C pendant 72 heures. Les colonies apparues sont comptées.

Seule la dilution pour laquelle les dénombrements étaient compris entre 30 et 300 colonies est retenue [4].

Pour calculer le nombre N de micro-organismes dénombrés à 30°C par ml en tant que moyenne pondérée, nous avons utilisé l'équation suivante selon la norme XP V08-102 [70]:

$$N = \frac{\sum c}{1.1 \times d}$$

Où :

N : nombre d'UFC par ml de produit initial.

$\sum c$: est la somme des colonies comptées sur les deux boîtes retenues.

d : est le taux de dilution correspondant à la première dilution.

Les résultats sont exprimés en unités formant colonies par ml de produit initial, nous avons converti les numérations exprimées en UFC/ml en numérations par cm² de surface à l'aide de la formule :

$$N' = N \times 4$$

Où :

N' : Nombre d'UFC par cm².

N : Nombre d'UFC par ml de produit initial.

1.3.3. Mesure de l'ATP résiduelle

La lecture de l'émission lumineuse du test se fait en plaçant le stylo dans l'ATPmètre, permettant l'obtention d'un résultat chiffré du taux de luminescence en dix secondes (donc du taux d'ATP présent dans la matière organique et/ou bactérienne).

La quantité d'ATP est exprimée en URL (unités relatives de lumière) (figure 5), avec un seuil maximum de 999.999 URL.



Figure 5 : Valeur affichée sur ATPmètre exprimée en URL. (Photo personnelle)

1.4. Collecte de données sur les procédures de nettoyage-désinfection mises en oeuvre

Nous avons procédé autant que possible, au recoupement des informations pour avoir le maximum d'informations fiables en procédant à la combinaison de trois techniques :

- l'observation,
- les entretiens individuels directs,
- la compulsions des documents.

Cette étape a duré deux semaines.

1.4.1. Observation directe des procédures de nettoyage-désinfection

L'observation a porté sur le processus de nettoyage et de la désinfection, notamment l'utilisation du matériel, des produits utilisés et leur dosage ainsi que la technique proprement dite (annexe 5.1).

1.4.2. Les entretiens individuels directs

Les entretiens individuels directs intéressent principalement les responsables de l'abattoir qui sont impliqués directement dans la gestion de l'hygiène, ainsi que le personnel chargé du nettoyage et de la désinfection (annexe 5.2).

1.4.3. La compulsions des documents

Elle intéressait les documents et les catalogues des équipements de la chaîne d'abattage, du matériel et des produits de nettoyage-désinfection.

1.5. Analyse statistique des données

L'ensemble des données issues des analyses, a fait l'objet d'une analyse statistique qui a été réalisée au moyen d'un logiciel informatique « EXCEL : 2003 ».

Les calculs ont été effectués après transformation logarithmique en base 10 des résultats issus de l'analyse microbiologique (UFC/cm²) et d'ATPmétrie (URL/cm²). Cette transformation est destinée à normaliser la distribution [18, 93].

Les traitements statistiques sont, dans un premier temps, appliqués à l'ensemble des prélèvements issus des deux méthodes comparées pour connaître s'il y a une relation entre ces deux méthodes de contrôle et calculer le coefficient de corrélation et l'équation de la droite de régression.

Dans un second temps, les résultats sont analysés par type de surface, et pour chaque surface, nous avons calculé la moyenne arithmétique et l'écart type des log₁₀ UFC/cm² et des log₁₀ URL/cm² et nous avons appliqué à partir de ces moyennes logarithmiques le test de Student au seuil de 5 % pour la comparaison de ces moyennes observées entre elles, puis aux seuils d'acceptabilité pour chaque méthode.

Les résultats obtenus du dénombrement de la flore totale ont été comparés aux critères microbiologiques français [85] et les résultats d'ATPmétrie à une valeur obtenue à partir de l'équation de la droite de régression qui représente une meilleure prédiction de Y « critère d'interprétation des résultats selon le niveau des URL » pour une valeur X donnée par la réglementation « critère d'interprétation des résultats selon le niveau des UFC » après une transformation logarithmique en base 10 de X.

2. RESULTATS

1.1. Relation entre l'ATPmétrie et le dénombrement de la flore totale

La relation entre les mesures d'ATPmétrie et le dénombrement de la flore totale sur les dix sites choisis appliquée à la totalité des échantillons est présentée dans la figure n° 6.

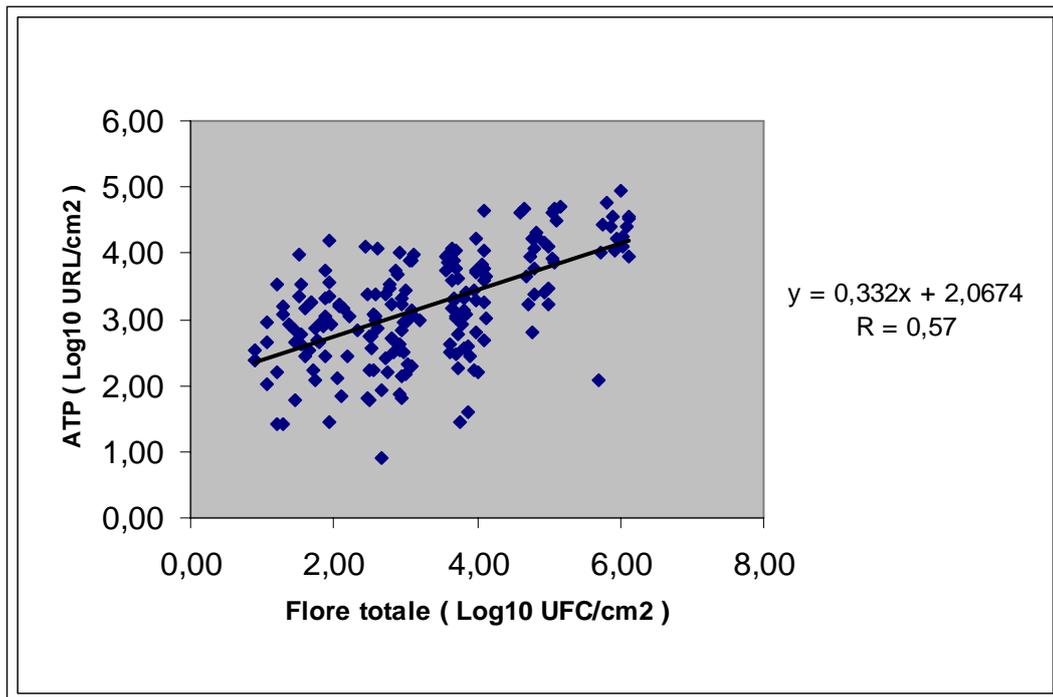


Figure 6 : Relation entre la teneur en ATP et le niveau de la flore totale appliquée à l'ensemble des prélèvements issus des deux méthodes.

2.2. Appréciation de la conformité du nettoyage et de la désinfection

2.2.1. Résultats du dénombrement de la flore totale

Les résultats obtenus du dénombrement de la flore totale sont rapportés dans le tableau n° 5 et représentés par la figure n° 7.

Tableau 5 : Résultats du dénombrement de la flore totale des dix sites testés.

Types de sites	Nombre d'échantillons (199)	Flore totale	
		Moyenne (UFC/cm ²)	Moyenne ± Ecart-type (Log ₁₀ UFC/cm ²)
Couteaux	20	5,6 x 10 ²	1,9 ± 0,7
Bac d'échaudage	20	1,3 x 10 ³	2,5 ± 0,8
Plumeuse	20	7,8 x 10 ⁴	3,7 ± 1,2
Arrache-têtes	20	1,1 x 10 ⁴	3,1 ± 1,3
Eviscéreuse	20	1,2 x 10 ⁴	3,4 ± 0,9
Craqueur de cou	20	9,2 x 10 ⁴	3,3 ± 0,8
Laveuse interne	20	2 x 10 ³	2,8 ± 0,7
Glissière pour carcasses	19	1,2 x 10 ³	2,5 ± 0,9
Bande transporteuse de carcasses	20	2,5 x 10 ⁵	4,8 ± 0,8
Paniers transporteurs de carcasses	20	6,6 x 10 ⁵	5,6 ± 0,7

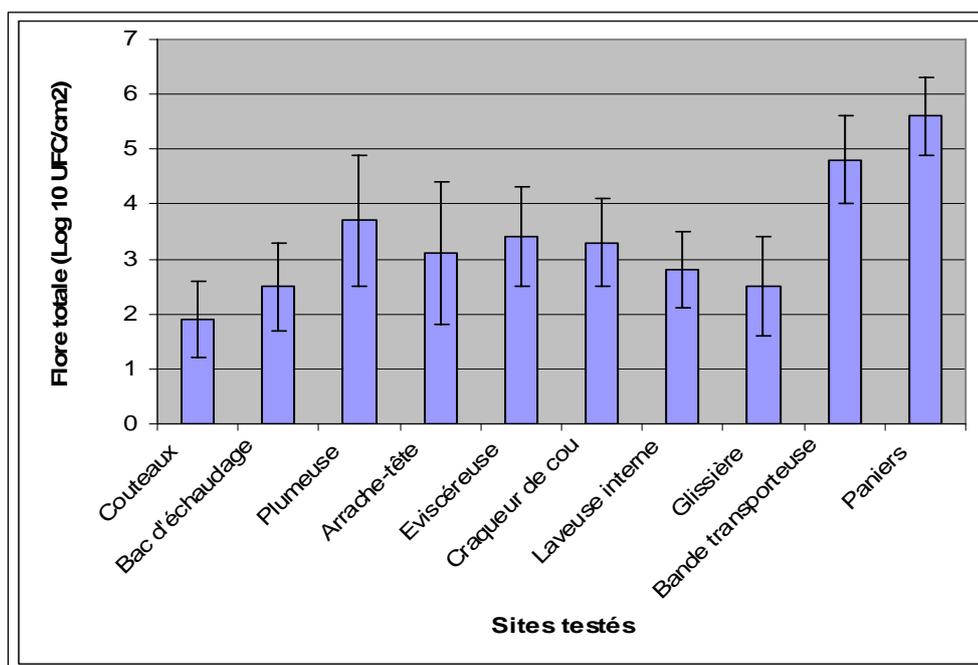


Figure 7 : Répartition des valeurs moyennes déterminées par le dénombrement de la flore totale des dix sites testés.

2.2.2. Résultats des analyses ATPmétriques

Les résultats obtenus des mesures d'ATPmétrique sont rapportés dans le tableau n° 6, et représentés par la figure n° 8.

Tableau 6 : Résultats des mesures d'ATPmétrique des dix sites testés.

Types de sites	Nombre d'échantillons (199)	ATPmétrique	
		Moyenne (URL/cm ²)	Moyenne ± Ecart-type (Log ₁₀ URL/cm ²)
Couteaux	20	1171	2,9 ± 0,5
Bac d'échaudage	20	1860	3 ± 0,6
Plumeuse	20	6211	2,9 ± 1,2
Arrache-têtes	20	3105	3,2 ± 0,5
Eviscéreuse	20	3465	3,2 ± 0,7
Craqueur de cou	20	3639	3,2 ± 0,6
Laveuse interne	20	1066	2,6 ± 0,6
Glissière pour carcasses	19	700	2,6 ± 0,4
Bande transporteuse de carcasses	20	16335	4,1 ± 0,4
Paniers transporteurs de carcasses	20	33412	4,4 ± 0,3

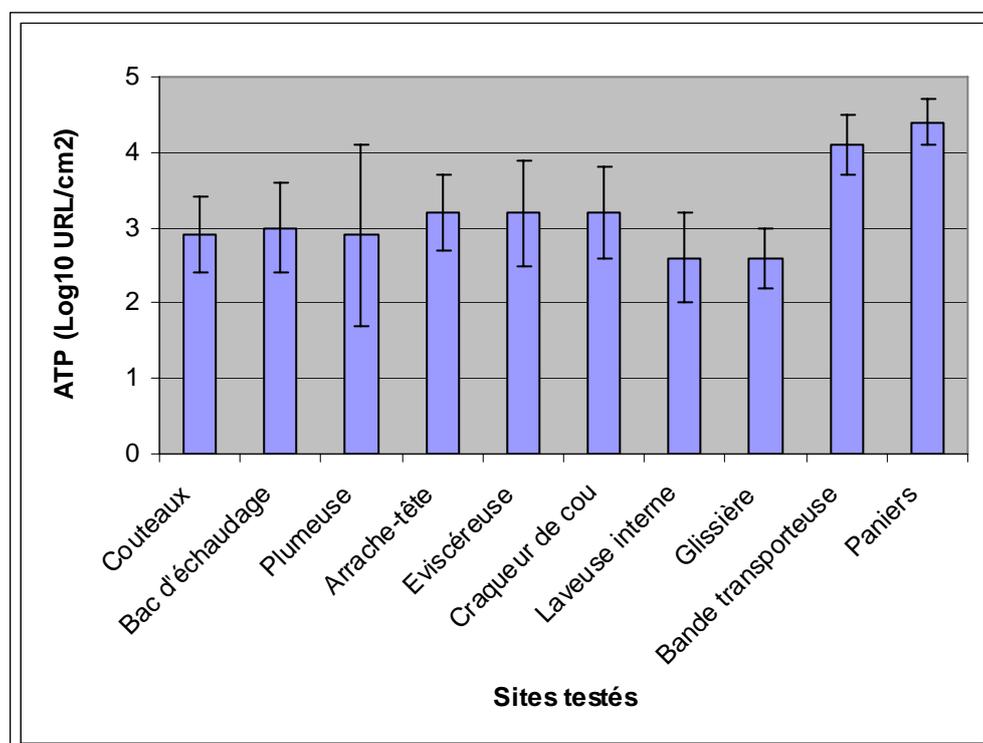


Figure 8 : Répartition des valeurs moyennes déterminées par les mesures d'ATP des dix sites testés.

2.2.3. Récapitulatif

Les résultats d'ATPmétrie et de flore totale, obtenus à partir des dix sites contrôlés en abattoir de volailles, sont présentés au tableau n° 7.

Tableau 7: Résultats des mesures d'ATPmétrie et de dénombrement de la flore totale obtenus à partir des dix sites testés

Types de sites	Nombre d'échantillons par méthode	Flore totale		ATPmétrie	
		Moyenne ± Ecart-type (Log ₁₀ UFC/cm ²)	Analyse ⁽¹⁾ statistique	Moyenne ± Ecart-type (Log ₁₀ URL/cm ²)	Analyse ⁽¹⁾ statistique
Couteaux	20	1,9 ± 0,7	⁽²⁾ ***	2,9 ± 0,5	⁽²⁾ ***
Bac d'échaudage	20	2,5 ± 0,8	***	3 ± 0,6	***
Plumeuse	20	3,7 ± 1,2	***	2,9 ± 1,2	*
Arrache-têtes	20	3,1 ± 1,3	***	3,2 ± 0,5	***
Eviscéreuse	20	3,4 ± 0,9	***	3,2 ± 0,7	***
Craqueur de cou	20	3,3 ± 0,8	***	3,2 ± 0,6	***
Laveuse interne	20	2,8 ± 0,7	***	2,6 ± 0,6	ns
Glissière pour carcasses	19	2,5 ± 0,9	***	2,6 ± 0,4	*
Bande transporteuse de carcasses	20	4,8 ± 0,8	***	4,1 ± 0,4	***
Paniers transporteurs de carcasses	20	5,6 ± 0,7	***	4,4 ± 0,3	***

⁽¹⁾ comparaison des moyennes observées aux seuils d'acceptabilité pour chaque méthode.

⁽²⁾ ns : non significatif, * : p<0,05, *** : p<0,001.

2.3. Résultats des analyses microbiologiques et de la dureté de l'eau

Les analyses microbiologiques de l'eau s'effectuent généralement chaque semaine par le responsable du laboratoire d'analyse microbiologique et physico-chimique de l'abattoir de Taboukert. Les moyennes des résultats, obtenues à partir de quatre analyses et réalisées pendant la période de notre étude, sont présentées dans le tableau n° 8.

Tableau 8 : Résultats des analyses microbiologiques de l'eau.

Micro-organismes recherchés	Résultats des analyses microbiologiques de l'eau	Critères microbiologiques de l'eau potable[113]
Micro-organismes aérobies à 37° C [5]	6 UFC /ml	< 20 UFC /ml
Micro-organismes aérobies à 22° C [5]	2 UFC/ ml	<10 UFC/ ml
Coliformes aérobies à 37° C [2]	0 UFC/100ml	<10 UFC/100ml
Coliformes thermotolérants à 44°C [7]	Absence	Absence
Streptocoques fécaux [6]	Absence	Absence
Clostridium sulfite-réducteurs à 46°C/ml [3]	Absence	Absence
Clostridium sulfite-réducteurs à 46°C/20ml [3]	2 UFC/ ml	<5 UFC/ ml

Le test de la dureté de l'eau du forage de l'abattoir de Taboukert a été réalisé par le laboratoire de l'abattoir en utilisant la méthode du dosage de la somme du calcium et du magnésium-Méthode titrimétrique à l'EDTA [58]. il a montré que le **TH est de 35°F**.

2.4. Résultats de l'audit d'hygiène de l'abattoir

2.4.1. Le personnel chargé du nettoyage et de la désinfection

Les opérations de nettoyage-désinfection sont réalisées par une équipe interne à l'abattoir d'où le rangement, déblayage et le prélavage à l'eau sont confiés aux personnes de l'équipe de production, et le reste des opérations est complété par une équipe de deux personnes.

➤ La formation ou la qualification et la sensibilisation du personnel en matière de nettoyage et de désinfection sont deux éléments essentiels pour effectuer des opérations de nettoyage-désinfection de qualité et en sécurité.

Le tableau n° 9, fait ressortir quelques attributs en relation avec cette composante.

Tableau 9 : Formation et sensibilisation du personnel.

Effectif	Formation avant le recrutement		Formation au cours de travail		Sensibilisation sur le risque		
	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	+/-
26	0	26	2	24	4	19	3

L'interprétation de ce tableau permet de dégager que :

- 92% des agents impliqués dans les opérations du nettoyage et de la désinfection affirment qu'ils n'ont reçu aucune formation en matière de l'hygiène ni avant ni après le recrutement.
- 15% des agents interrogés estiment qu'ils étaient sensibilisés sur les risques de santé liés aux opérations du nettoyage et de la désinfection.

➤ Toutes les personnes chargées du nettoyage-désinfection respectent les bonnes conditions d'hygiène corporelle et subissent des visites médicales systématiques à raison de deux fois par an.

➤ Tout le personnel porte une tenue vestimentaire uniforme, mais, le port des gants de protection, des masques à gaz et des lunettes n'est pas une pratique systématique.

2.4.2. Matériel, eau et produits de nettoyage

Il s'agit du matériel et des équipements de nettoyage-désinfection, ainsi que de l'eau et des produits détergents-désinfectants utilisés dans l'abattoir de Taboukert, la liste comprend :

➤ Canon à mousse : C'est un matériel facile à mettre en route et à entretenir et générant une mousse de bonne qualité, c'est-à-dire : une mousse fine et légère. Il est muni de son propre réservoir (d'une capacité de cent litres), et reçoit un volume de solution diluée selon les données du fabricant, et il nécessite de l'air comprimé . La concentration reste constante même s'il y a des variations de pression.

➤ balais brosse.

➤ eau de nettoyage : Pour la préparation des produits détergents-désinfectants et pour le rinçage, l'abattoir de Taboukert utilise l'eau de forage potable.

- Dégraissant-désinfectant alcalin «ANIO-STERIL-DS 30 ». IL est composé de :
- Bis (aminopropyl)-laurylamine : 15 g/L, un produit classé parmi les amphotères ;
 - Tensioactifs anioniques et non ioniques ;
 - Agents complexants.

2.4.3. Fréquence du nettoyage-désinfection

L'application des opérations de nettoyage-désinfection n'est pas quotidienne : trois à quatre fois par semaine au maximum, et ces opérations ne sont pas toujours bien réalisées.

2.4.4. Conception et état des surfaces de travail et d'équipements

Dans l'abattoir de volailles de Taboukert, les surfaces des matériaux présentent de nombreuses fissures, des interstices et des points de corrosion, en plus il y a des recoins que le nettoyage et la désinfection n'atteignent jamais du fait d'une mauvaise conception hygiénique des équipements comme c'est le cas du bac d'échaudage (figure 9), des paniers transporteuses de carcasses (figure 10) et de la plumeuse (figure 11).



Figure 9 : Bac d'échaudage : vue Intérieure (Photo personnelle)



Figure 10 : Paniers transporteurs de carcasses pendant la production (Photo personnelle)



Figure 11 : Plumeuse : vue intérieure (Photo personnelle)

2.4.5. Technique de nettoyage et de désinfection

➤ Le protocole mis en œuvre est composé de trois phases. Il commence par un pré lavage pour évacuer la majeure partie des souillures. Ensuite, la détergence et la désinfection associées s'effectuent par application d'un produit mousseux non corrosif. Un rinçage à l'eau, pour évacuer toutes les souillures organiques et microbiologiques issues de la mousse, donne des surfaces propres et désinfectées et termine les opérations.

➤ Le produit utilisé, mode et temps d'application, concentration, pH et température sont décrits dans le tableau n° 10 :

Tableau 10 : Conditions d'application du produit de nettoyage.

	Application	T (minutes)	pH	C (%)	T (°C)
Dégraissant-désinfectant alcalin « ANIO-STERIL-DS-30 »	Mousse	20	> 12	2	+ 20

Le produit détergent-désinfectant a été appliqué sous forme de mousse pendant 20 minutes à l'aide d'un canon à mousse.

➤ Le pré lavage et le rinçage sont réalisés dans l'abattoir de Taboukert avec une lance à eau sous pression pendant vingt minutes à une température de 20°C.. La pression de l'eau est de 20 bars et la distance buse-surface varie de 1 à 4 mètres.

2.4.6. Caractéristiques des locaux : encombrement et nature des revêtements

La superficie des salles d'abattage de l'abattoir de volailles « Taboukert », ainsi que l'aménagement de la chaîne d'abattage, confèrent à l'abattoir un aspect non encombrant rendant ainsi l'exécution des opérations de nettoyage-désinfection moins pénibles.

La nature des revêtements des locaux (sol, murs...) pose un problème pour opérer un nettoyage et une désinfection de qualité. Le sol cimenté est dépourvu d'un revêtement étanche résistant à tous les produits de nettoyage-désinfection susceptibles d'être utilisés. Les murs ne sont pas tous recouverts de faïences mais d'une peinture difficile à nettoyer et à désinfecter (figure 12).



Figure 12 : Nature des revêtements des murs et du sol.
(Photo personnelle)

2.4.7. Fréquence du contrôle microbiologique des surfaces

Sur le terrain, peu de contrôles visuels et microbiologiques sont faits en réalité après le nettoyage et de la désinfection. En été, un contrôle microbiologique sur deux semaines est effectué, et un contrôle par mois durant les trois autres saisons.

2.5. Interprétation

2.5.1. Relation entre l'ATPmétrie et le dénombrement de la flore totale

Les résultats suggèrent un lien entre l'ATPmétrie et le dénombrement de la flore totale (augmentation de la quantité d'ATP quand le nombre d'UFC augmente), Mais le coefficient de corrélation est faible ($r = 0.57$) (figure 6). 15,8 % de prélèvement donnant des résultats extrêmes avec la méthode d'ATPmétrie, ont des résultats totalement différents avec la méthode de dénombrement de la flore totale.

2.5.2. Dénombrement de la flore totale

Devant l'absence des normes nationales pour interpréter nos résultats, nous nous sommes inspirés de la réglementation française : note de service n°2007-8275 du 14 novembre 2007, relative aux critères microbiologiques applicables aux carcasses d'animaux de boucherie et de volailles, et lignes directrices relatives aux contrôles de surface du matériel en abattoir et en atelier de découpe d'animaux de boucherie et de volailles [85].

Les critères d'interprétation recommandés sont rapportés dans le tableau n° 11.

Tableau 11 : Critères d'interprétation microbiologique fixés par la réglementation française : note de service n°2007-8275 du 14 novembre 2007.

	Satisfaisant		Non satisfaisant	
	UFC/cm ²	Log ₁₀ UFC/cm ²	UFC/cm ²	Log ₁₀ UFC/cm ²
Seuil d'acceptabilité de la flore totale (à 30 °C pendant 72 heures)	0 - 10	0, - 1	> 10	> 1

Les résultats de la flore totale montrent que le niveau de contamination des surfaces testées est élevé et ne répond pas à la norme légale. Les analyses statistiques effectuées, par type de surface, révèlent une différence très hautement significative ($P < 0.001$) par rapport au seuil d'acceptabilité (tableau 7).

Ce pendant, l'analyse sur la totalité des observations a montrée que la bande transporteuse de carcasses et les paniers sont plus contaminés que les autres surfaces testées avec respectivement 4,8 et 5,6 \log_{10} UFC/cm².

Pour le autres sites : la plumeuse, l'arrache-têtes, l'éviscéreuse et le craqueur de cou, ils sont en moyenne moins contaminés en flore totale que les deux premiers (entre 3,1 et 3,7 \log_{10} UFC/cm²), tandis que, les couteaux, le bac d'échaudage, la laveuse interne et la glissière sont les moins contaminés avec respectivement 1,9. 2,5. 2,8 et 2,5 \log_{10} UFC/cm², mais ils ne répondent pas toujours à la norme légale.

2.5.3. Analyses d'ATPmétrie

Aujourd'hui, L'ATPmétrie est une technique récente, pour laquelle, nous ne disposons pas de publications concernant l'interprétation des résultats en abattoir de volailles. En effet, il y a une différence de valeurs d'ATP selon les types d'appareils d'où la nécessité d'établir les limites d'acceptabilité en rapport avec les spécifications de notre matériel.

Généralement, l'ATPmétrie mesure principalement l'efficacité du nettoyage ; ses résultats sont comparés à ceux de la mesure de la flore totale pour déduire un seuil d'acceptabilité des URL [29]. En effet, même si la flore totale caractérise essentiellement la phase de désinfection, l'efficacité de cette opération est très dépendante de celle du nettoyage qui la précède.

Cependant, pour des surfaces telles que celles de l'abattoir de volailles et avec l'appareil utilisé, le seuil d'acceptabilité des résultats selon le niveau des URL a été inspiré de l'équation de la droite de régression tirée de la corrélation entre les deux méthodes [29] (figure 6) :

$$Y = 0.332 * X + 2.0674$$

Après une transformation logarithmique en base 10 de la valeur tirée des critères d'interprétation des résultats selon le niveau des UFC « $\text{Log}_{10} 10\text{UFC} = 1$ », et après un remplacement de X par cette valeur, nous aurions une estimation du seuil d'acceptabilité des URL : $Y = 2,4 \text{ Log}_{10} \text{ URL}$ (250URL).

Tableau 12 : Seuils d'acceptabilité des URL.

	Satisfaisant		Non satisfaisant	
	URL/cm ²	Log ₁₀ URL/cm ²	URL/cm ²	Log ₁₀ URL/cm ²
seuil d'acceptabilité d'ATPmétrie*	0 - 250	0 - 2,4	> 250	> 2,4

* : Le seuil d'acceptabilité donné pour d'ATP n'est valable qu'avec l'appareil « LUMITESTER PD-10 » et pour les surfaces de l'abattoir de Taboukert.

Les moyennes d'ATP obtenues par type de surface montrent aussi une différence très hautement significative ($p < 0,001$) par rapport au seuil d'acceptabilité des URL, sauf la plumeuse et la glissière pour carcasses avec une différence significative ($p < 0,05$) et aucune différence avec la laveuse interne (tableau 7).

Les analyses statistiques effectuées sur la totalité des observations ont montré que la bande transporteuse de carcasses avec $4,1 \text{ log}_{10} \text{ URL/cm}^2$ et les paniers avec $4,4 \text{ log}_{10} \text{ URL/cm}^2$ sont les plus souillés, suivis par l'arrache-têtes, le craqueur de cou, l'éviscéreuse, le bac d'échaudage et les couteaux avec respectivement : 3,2. 3,2. 3,2. 3 et $2,9 \text{ log}_{10} \text{ URL/cm}^2$, et enfin la plumeuse, la laveuse interne et la glissière avec respectivement : 2,9. 2,6 et $2,6 \text{ log}_{10} \text{ UFC/cm}^2$.

2.5.4. Analyses microbiologiques et mesure de la dureté de l'eau

Les analyses microbiologiques ont montré que la qualité microbiologique de l'eau est bonne et répondent aux critères microbiologiques fixés par l'arrêté interministériel du 24/01/1998 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires : critères microbiologiques des eaux et boissons [11] (tableau 8).

Les tests de la dureté de l'eau ont montré que cette eau est dure : TH = 35 °F, selon la classifications de l'eau montrée dans le tableau 2. Jusqu'à maintenant, il n'existe pas un système d'adoucissement de l'eau appliqué à l'abattoir de Taboukert.

3. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

3.1. Comparaison des indicateurs: flore totale et ATP

L'ATPmétrie est une méthode rapide de contrôle du nettoyage-désinfection qui est utilisée dans plusieurs secteurs des industries agroalimentaires. La filière viande et en particulier le secteur « abattage de volailles » ne disposait que de quelques références sur l'utilisation de cette méthode et sa comparaison avec les méthodes classiques.

La faible valeur du coefficient de corrélation ($r = 0.57$) obtenue entre les mesures d'ATP et les résultats du dénombrement de la flore totale montrent que, si cette corrélation est significative statistiquement, elle est néanmoins faible pour que l'ATPmétrie remplace le contrôle microbiologique des surfaces.

Selon la littérature, les quantités d'ATP sont très variables d'un type de cellule à l'autre, il y a 300 000 fois plus d'ATP dans une cellule somatique que dans une bactérie. Il a été démontré que le seuil élevé de détection des micro-organismes (1000 bactéries/écouvillon ou 10 à 20 levures/écouvillon) [27, 102] et les interactions avec l'ATP libre issu de débris cellulaires rendaient cette méthode difficilement utilisable pour le contrôle de la désinfection, mais elle renseigne d'avantage sur la qualité du nettoyage [60].

Nous avons trouvé que plus de 15,8 % des mauvais résultats en ATPmétrie (surface sale) ont donné un très bon résultat en flore totale (bonne désinfection). Ceci peut s'expliquer par l'efficacité du désinfectant même en présence de matières organiques, c'est-à-dire : un nettoyage déficient pouvait être compensé partiellement par une bonne désinfection.

Nous pouvons ressortir que la méthode de référence basée sur le dénombrement de la flore totale ne peut être considérée comme une méthode fiable pour le contrôle du nettoyage et de la désinfection au même temps, mais elle renseigne surtout sur l'efficacité de la désinfection car elle ne permet pas de détecter les problèmes d'encrassement des surfaces.

Nous pouvons constater que le contrôle de la flore totale des surfaces exigé par la réglementation doit être complété par un contrôle des résidus de débris alimentaires en utilisant une méthode comme l'ATPmétrie. Malheureusement, les méthodes de contrôle microbiologique ne permettent pas une action corrective immédiate en cas de désinfection déficiente car le résultat est au mieux obtenu en 24 à 72 heures, par contre l'ATPmétrie fournit une réponse quasi-immédiate qui ne dépasse pas deux minutes après prélèvement.

Nous ne disposons pas d'études qui font le lien entre l'ATPmétrie et les méthodes classiques de contrôle microbiologique concernant les surfaces de travail et d'équipements de l'abattoir de volailles pour que nous puissions les comparer à nos résultats, mais il existe quelques unes : deux qui ont été réalisées pour déterminer la qualité microbiologique des carcasses de volailles et une pour évaluer l'hygiène des surfaces dans des ateliers d'abattage-découpe du porc :

- La première réalisée en 1997 après l'utilisation de la bioluminescence et le dénombrement de la flore totale par écouvillonnage sur pétrifilm : PCA. Le coefficient de corrélation trouvé entre les deux méthodes est moyen ($r = 0,69$) [14].
- La deuxième après l'utilisation de la bioluminescence et le dénombrement de la flore totale sur milieu gélosé pour numération, le coefficient de corrélation trouvé dans ce cas est fort ($r = 0,85$) [15].
- La troisième, c'est une étude réalisée en 1998 dans dix entreprises du secteur abattage-découpe de porc, par l'institut technique du porc, en collaboration avec l'ADIV : Association pour le Développement de l'Institut de la Viande « Centre Technique Français de la Viande », et qui avait comme objectifs de vérifier l'intérêt de l'ATPmétrie, et de déterminer s'il existe une corrélation entre l'ATPmétrie et le contrôle microbiologique des surfaces en utilisant deux types d'ATPmètre. Les valeurs du coefficient de corrélation obtenues entre les mesures d'ATP et les résultats des boîtes contact « flore totale » sont trop faibles : 0,37 pour le premier appareil « Uni-Lite » et 0,27 pour le deuxième « Hy-Lite » [78].

3.2. Appréciation de la conformité du nettoyage et de la désinfection

Les niveaux de contamination résiduelle obtenus, par ATPmétrie et par dénombrement de la flore totale, sont significativement supérieurs sur les dix sites choisis par rapport aux seuils d'acceptabilité des deux méthodes. Cette différence est sans doute à attribuer à une mauvaise qualité des procédures de nettoyage-désinfection mises en œuvre, à la présence de matériaux anciens et au nettoyage-désinfection non systématique.

L'abattoir de volailles de Taboukert pratique un prénettoyage quotidien et applique trois à quatre fois par semaines les opérations complètes de nettoyage-désinfection juste après l'abattage. Mais nous avons remarqué que, même après l'application d'une opération de nettoyage-désinfection, les niveaux d'ATP et de la flore totale restent toujours supérieurs à la norme.

L'inspection visuelle nous a montré, qu'après chaque opération de nettoyage-désinfection, une présence de matières organiques sur les surfaces représentées surtout par la matière grasse.

Dans ce cas, la détergence par la mousse n'a pas pu éliminer toute la matière organique à cause peut-être de l'accumulation de débris alimentaires, d'où la nécessité d'appliquer ces opérations quotidiennement pour garder la propreté des surfaces et éviter l'accumulation et l'encrassement. L'effet de ce problème d'accumulation a été remarqué sur toutes les surfaces, et il explique clairement ces valeurs élevées, mais il existe toujours des facteurs spécifiques pour chaque surface qui accentuent ou minimisent l'encrassement et la contamination des surfaces. Avant d'expliquer ces facteurs, il ne faut pourtant pas conclure de façon formelle que tel matériau ou tel site est plus nettoyable (ou nettoyé) qu'un autre. En effet le degré et le type d'exposition aux souillures de chaque matériau ou site n'est pas le même.

➤ L'arrache-têtes, le craqueur de cou et la glissière sont lisses et ne présentent aucune corrosion, dont nous avons obtenu des valeurs en ATP et en flore totale toujours élevées, ça est toujours du à l'accumulation et l'encrassement. Les valeurs en ATP et en flore totale, obtenues après analyses concernant la glissière, sont légèrement moins élevées que les deux autres, ça est du principalement à la qualité de la surface qui est brillante et bien polie (figure 13). L'utilisation de surfaces de faible rugosité permet de faciliter l'élimination des souillures organiques et des bactéries fixées et donc de limiter la formation des biofilms. Ces matériaux doivent être lisses au départ mais surtout le rester c'est à dire être résistant à l'usure. L'acier inoxydable se distingue comme le matériau restant le moins rugueux et donc le plus facile à nettoyer s'il est bien poli [19].



Figure 13 : Glissière pour carcasses
(brillante et bien polie).
(Photo personnelle)

➤ Les couteaux sont nettoyés tous les jours à la fin d'abattage à l'eau chaude à 82°C sans détergence ou désinfection. Ce lavage des lames par l'eau chaude a permis de donner un niveau en flore totale inférieur par rapport aux autres surfaces, ceci est dû à l'action de la chaleur sur les micro-organismes. Mais ce lavage n'a pas d'effet sur l'élimination de toute la matière organique d'où le niveau d'ATP est élevé. L'eau chaude a un effet sur la matière grasse par ramollissement, mais elle dénature les protéines et les rend difficilement lavable [48].

L'hygiène des couteaux a été toujours identifiée comme un point critique. Par ailleurs, sur la base d'une étude réalisée par l'ADIV, il ressort qu'un simple trempage des couteaux dans un lavabo stérilisateur contenant de l'eau chaude ne permet pas un nettoyage suffisant de la lame. L'action combinée d'une solution détergente et d'une solution de désinfection, un temps de contact suffisant et une action mécanique, améliorent l'efficacité du nettoyage des couteaux [1].

➤ Les résultats en ATP ont montré que les doigts plumeurs présentent un niveau d'encrassement moyen par rapport aux autres surfaces. Cela est dû au fait que les doigts plumeurs sont fabriqués en élastomère (figure 14), présentant une bonne résistance vis-à-vis des liquides agressifs (solvants, acides, bases...) et des huiles, ainsi qu'un meilleur comportement à haute température [25]. Par contre les résultats en flore totale sont élevés car les doigts plumeurs sont considérés comme un excellent support pour la formation de biofilms d'où une colonisation rapide par des germes [77].

L'application quotidienne de techniques de nettoyage et de désinfection appropriées des doigts plumeurs, en particulier l'utilisation pour les détergents et les désinfectants de supports moussants qui permettent un temps de contact relativement long, favorise une diminution du niveau d'encrassement en matière organique et de contamination par les micro-organismes. Aussi dans ce cas, les désinfectants usuels devraient être utilisés à des concentrations 5 à 10 fois supérieures à celles nécessaires pour l'acier inoxydable [20].



Figure 14 : Etat des doigts plumeurs avant changement.
(Photo personnelle)

➤ L'eau du bac d'échaudage n'est pas toujours renouvelée régulièrement, et si le bac est vidé et nettoyé, le produit utilisé pour le nettoyage-désinfection est toujours alcalin pour éliminer les souillures organiques qui sont de nature très diverse : forte proportion de protéines, des lipides à point de fusion variable et peu de glucides. Mais lors du réchauffement de l'eau d'échaudoir, les sels sédimentent sous forme cristalline et se déposent sur les parois. La vitesse de formation de tartre augmente avec la température de l'eau d'échaudoir. Si la température augmente, la vitesse de dépôt protéique des produits augmente également [66].

Les dépôts organo-minéraux se composent surtout de protéines et de sels minéraux, quand le taux de protéines est élevé, on constate toujours un dépôt fibreux, spongieux, poreux et volumineux (figure 15). Les souillures organo-minérales sont les plus difficiles à éliminer et présentent un véritable nid à microbes.

Dans notre cas, les teneurs en ATP et en flore totale obtenues des analyses du bac d'échaudage ne sont pas différentes par rapport aux autres surfaces qui ne présentent pas de souillures organo-minérales. Cela est du, d'une part à la haute température de l'eau d'échaudage « 54°C » qui entraîne une diminution du niveau de la contamination globale en micro-organismes [50, 96], et d'autre part à la difficulté des prélèvements par écouvillonnage des surfaces du bac encrassées de dépôts organo-minéraux [66].

Il est donc recommandé d'utiliser en alternance des produits alcalins, pour éliminer la matière organique, et des produits acides pour éliminer le tartre. L'utilisation d'un produit acide seule n'est pas indiquée car l'action des détergents acides sur les souillures organiques est beaucoup moins claire. Si l'efficacité sur les matières grasses peut être expliquée par la présence de tensioactifs à propriétés émulsionnantes, l'action sur la matière protéique est généralement considérée comme faible, les protéines n'étant que moyennement solubles en milieu acide [84].



Figure 15 : Paroi du bac d'échaudage encrassée par des souillures organo-minérales.
(Photo personnelle)

➤ Les surfaces de l'éviscéreuse présentent deux types de corrosion : une corrosion généralisée et une corrosion par piqûres (figure 16). Ces corrosions nous permettent d'expliquer le niveau moyennement élevé de la flore totale et d'ATP par rapport aux autres surfaces.

Une fois que l'acier inoxydable est exposé à l'air ou à l'eau, il est passivé en formant une couche d'oxyde de chrome (corrosion généralisée) à laquelle les bactéries s'adhèrent, mais cette façon d'adhérer n'a pas une grande importance pratique [27].

La corrosion par piqûres est un mode de corrosion le plus rencontré et le plus pernicieux. Ce type de corrosion est provoqué par des ruptures de la couche passive qui peut être le fait des halogènes par exemple. Ce type de corrosion est dommageable car les cavités créées permettent les conditions d'accrochage de salissures et la nidification de micro-organismes [64].

Près de 80% des incidents de corrosion sont imputables à l'absence d'entretien et à l'application de procédures ou de produits inadaptés. Puisque les agents chargés du nettoyage-désinfection ne respectent pas la concentration des produits en utilisant des récipients non gradués réservés au dosage des produits, et essayant toujours de surdoser les produits pour améliorer l'efficacité du nettoyage-désinfection sans connaissance, ce surdosage peut accélérer la corrosion. Le strict respect des données du fabricant, concernant l'utilisation des produits de nettoyage-désinfection, permet de limiter ou d'éliminer ces inconvénients.



Figure 16 : Cuillère d'éviscéreuse corrodée.

(Photo personnelle)

➤ La laveuse interne est fabriquée en Téflon qui est classé parmi les thermoplastiques fluorés [25]. Selon la littérature, ces matières sont poreuses et irrégulières et plus difficiles à traiter [20], mais les résultats obtenus montrent que le niveau en ATP et en flore totale est parmi les niveaux les plus bas par rapport aux autres surfaces. Cela peut être expliqué par la forte turbulence en présence permanente de l'eau en grandes quantités à ce poste. Cette turbulence rend plus difficile l'adhérence des souillures et des micro-organismes au support [104].

➤ La bande transporteuse de carcasses fabriquée en PVC (polychlorure de vinyle) est classée parmi les thermoplastiques chlorés qui se ramollissent par chauffage, ils sont sensibles au fluage (déformation) et au vieillissement chimique ou sous contrainte mécanique [25].

Cette bande, où nous avons réalisé nos prélèvements, a subi un vieillissement chimique par réticulation : la conséquence est une rigidification de la matière « PVC », une décoloration caractéristique et des coupures de chaînes provoquant l'apparition de fissures (figure 17).

Ce vieillissement accompagné de fissures explique les niveaux les plus élevés de la flore totale et l'ATP par rapport les autres surfaces.

C'est la raison pour laquelle, il convient d'attirer tout particulièrement l'attention sur la nécessité de mettre en place des procédures efficaces de nettoyage et de désinfection de ces tapis et leur changement dès l'apparition de signes de vieillissement [63].



Figure 17 : Bande transporteuse de carcasses avec des fissures sur la totalité de la surface. (Photo personnelle)

➤ Les paniers transporteurs de carcasses prennent la place des chariots et des caisses. Ils servent à porter et à transporter les carcasses vers la chambre froide. Ces carcasses portées par les paniers subissent un refroidissement à 1°C durant 12 heures. Le lendemain, après un déchargement des carcasses dans des caisses à usage unique, les paniers sortiront de la chambre froide avec des souillures sèches sur leurs surfaces (figure 18).

Ces souillures sont très difficiles à éliminer, un détergent-désinfectant par la mousse est appliqué pendant 20 minutes par les agents chargés de nettoyage, mais cette procédure ne suffit pas pour éliminer efficacement ces souillures, ce qui explique le niveau élevé en flore totale et en ATP par rapport aux autres surfaces.

Nous avons constaté, dans ce cas, que l'efficacité du détergent n'est avérée que si son emploi s'accompagne d'une activité mécanique par brossage, cette détergence doit être suivie d'un rinçage à moyenne pression, puis une désinfection et enfin un rinçage final. L'action mécanique est obtenue en utilisant une brosse avec un détergent moussant à chaud ; cette action a pour but de réaliser un brassage des molécules, de renouveler les contacts entre le produit et les souillures, et également de décrocher les salissures les plus tenaces [20].



Figure 18 : Déposition des souillures sèches sur les surfaces des paniers.
(Photo personnelle)

3.3. Choix d'une méthode de contrôle

Dans le secteur d'abattage en général, les procédures du nettoyage-désinfection et leurs contrôles tels qu'ils sont actuellement réalisés semblent avoir atteint leurs limites et ne répondent plus forcément aux exigences croissantes en matière de sécurité alimentaire. Une des voies d'optimisation du nettoyage-désinfection passe par l'amélioration et la validation de la phase de détergence, notamment par l'utilisation d'une méthode de contrôle simple et rapide comme l'ATPmétrie.

Puisque l'adoption de l'ATPmétrie représente un coût assez important pour un abattoir de volailles, en matière d'investissement en matériel nécessaire, pour la détermination des valeurs seuils (temps, consommables), et en consommables pour l'utilisation en routine, nous proposons que si les salles ou la chaîne d'abattage apparaissent sales en de nombreux endroits, il n'est pas nécessaire de procéder à des analyses plus poussées puisque l'insuffisance des opérations de nettoyage est évidente. Dans le cas contraire, des contrôles des surfaces sont conseillés car un site visuellement propre peut toutefois présenter une contamination microbiologique ou/et une quantité d'ATP résiduel élevées.

Nous pouvons recommander ce qui suit :

- L'ATPmétrie doit être utilisée :
 - A la suite de modifications importantes dans le protocole de nettoyage-désinfection et surtout lors d'un changement du détergent, cela s'applique à toutes les surfaces en contact direct avec l'aliment. Pour les autres sites, les surfaces doivent être choisies selon les types de matériaux par exemple, pour obtenir une bonne représentation. Chaque abattoir doit choisir les points les plus pertinents et fixer lui-même ses valeurs seuils, car il n'est pas possible de contrôler toutes les surfaces.
 - Pour le contrôle de routine du nettoyage.
- Le dénombrement de la flore totale doit être réalisé deux fois par semaine. Environ deux tiers du total des échantillons doivent être prélevés sur des surfaces en contact direct avec l'aliment [85]. Ce dénombrement doit se faire par écouvillonnage, car la plupart des surfaces de l'abattoir de volailles ne sont pas planes.

3.4. Analyse et recommandations sur les procédures de nettoyage-désinfection mises en œuvre

Les procédures du nettoyage-désinfection feront appel à différentes questions fondamentales [23] :

- Par qui ? : informer et former le personnel chargé de ces opérations.
- Avec quoi ? : définir les équipements et les produits utilisés.
- Quand ? : déterminer la fréquence des opérations de nettoyage et de désinfection.
- Où ? : dresser le plan et la conception des locaux et des équipements.
- Comment ? : préciser les opérations dans des procédures et/ou des modes opératoires.

3.4.1. Le personnel chargé du nettoyage et de la désinfection

3.4.1.1. Formation et qualification

La formation et la qualification du personnel en matière de nettoyage et de désinfection sont deux éléments parmi d'autres qui influencent la qualité de l'hygiène des abattoirs de volailles.

Les résultats montrent que ce personnel n'est pas qualifié pour exercer convenablement ses tâches. L'absence des sessions de formation continue vient pour creuser davantage cet écart.

La bonne connaissance de l'importance des opérations de nettoyage et désinfection par le personnel chargé est primordiale; chacun, à son niveau, doit éliminer régulièrement les souillures, nettoyer et désinfecter les surfaces, et maintenir les équipements en bon état. Pour cela, le personnel doit être convenablement formé et qualifié aux tâches à accomplir.

3.4.1.2. Effectif

Le personnel chargé de nettoyage-désinfection doit être au nombre suffisant, les responsables de l'abattoir doivent recruter aux moins trois autres personnes ayant un pré-requis en matière de nettoyage.

Le personnel affecté aux opérations de nettoyage doit se consacrer à temps plein à cette tâche pendant la période d'abattage pour nettoyer et désinfecter les paniers transporteurs de carcasses, et en fin d'abattage pour les autres surfaces.

3.4.1.3. Protection.

Le personnel chargé de nettoyage-désinfection doit être équipé d'une tenue visant à le protéger du contact et de projection de produits contaminés ou toxiques : port de lunettes de protection,

masque approprié, gants à manchettes longues résistants aux produits utilisés, tablier ou blouse étanche pour le nettoyage. Le non respect des règles de protection pourrait exposer ce personnel à des risques sanitaires d'infection, d'intoxication et d'allergie [110].

3.4.2. Matériel, eau et produits de nettoyage

➤ Les balais brosse ne suffisent pas seuls et ne sont pas appropriés aux exigences hygiéniques de l'abattoir, ce qui va influencer la qualité de nettoyage, donc il faut un minimum de matériel comme : raclettes, brosses, seaux, etc.

Il est nécessaire de nettoyer et désinfecter efficacement ce matériel après chaque utilisation, pour cela, il faut le rincer, le déposer dans le bac de trempage avec une solution détergente-désinfectante au minimum 20 minutes puis le sortir, le rincer, le laisser égoutter puis le ranger.

➤ eau de nettoyage :

La qualité microbiologique de l'eau de l'abattoir de Taboukert est bonne et répond à la norme légale. Si la qualité microbiologique de l'eau n'est pas bonne, cette étape est responsable de recontamination du matériel, pourtant convenablement traité au cours des opérations antérieures bien réalisées. Le contrôle microbiologique de l'eau de rinçage s'avère donc nécessaire, de même celui des surfaces [87].

Lorsqu'il y a risque de recontamination de la surface nettoyée, due à la présence de germes dans l'eau, nous pouvons ajouter un désinfectant qui assurera ainsi la réduction, voire même la disparition de ces germes.

Les tests de la dureté de l'eau du forage de l'abattoir de Taboukert ont montré que cette eau est dure : TH = 35 °F. L'eau dure servant à la dilution du désinfectant peut interférer avec l'activité désinfectante [53], mais la plupart des produits contient des agents séquestrants qui minimisent cet effet.

L'efficacité du nettoyage et de la désinfection diminue fortement avec la dureté de l'eau (c'est-à-dire avec la quantité de sel de calcium et de magnésium dissous)[17]. Les fabricants ajoutent des agents séquestrants aux produits de nettoyage pour prévenir la précipitation des sels et formation de tartre. Toutefois sur le long terme, il est souvent bien moins coûteux d'adoucir l'eau à la source que d'ajouter de grandes quantités de séquestrants.

➤ Dégraissant-désinfectant alcalin «ANIO-STERIL-DS 30 », ce dégraissant-désinfectant présente la double propriété de détergence et de désinfection et peut prévenir les dépôts

minéraux. Son utilisation permet une simplification du travail et un gain de temps, d'eau et d'argents.

L'utilisation d'un détergent-désinfectant combiné permet de limiter la prolifération des micro-organismes sur la surface considérée, même si l'activité désinfectante s'épuise en partie sur les souillures. Ce pendant, leur utilisation n'exclue pas une phase de désinfection systématique ultérieurement dont l'action est facilitée [53].

3.4.3. Fréquence du nettoyage-désinfection

L'absence d'un protocole écrit définissant la fréquence de nettoyage et de désinfection dans l'abattoirs de volailles, laisse une grande marge de manœuvre au personnel chargé pour accomplir leurs tâches d'une manière hasardeuse, par exemple, le respect de l'application d'une opération de nettoyage-désinfection de toute la chaîne d'abattage n'est pas observé (nettoyage et désinfection d'une salle sur quatre par jour).

3.4.4. Conception et état des surfaces de travail et d'équipements

Les équipements de la chaîne d'abattage sont classés parmi les équipements hygiéniques de classe I, ce sont des équipements qui peuvent être nettoyés et désinfectés en place et peuvent être débarrassés de micro-organismes d'intérêt sans démontage [42]. Concernant le bac d'échaudage et la plumeuse, ces deux machines présentent une difficulté d'accès qui rend les opérations de nettoyage-désinfection particulièrement pénibles (figures n° 9 et n° 11).

L'application de règles strictes de nettoyage et de désinfection du matériel apparaît comme un procédé fondamental nécessaire à la maîtrise du risque. Pour ce faire il convient d'utiliser une procédure permettant une accessibilité totale aux différentes parties du bac d'échaudage et de la plumeuse et notamment aux doigts en caoutchouc, afin d'assurer un changement fréquent de ces derniers [63, 99].

Les paniers transporteurs de carcasses sont fixés à la chaîne d'abattage, ils ne sont pas démontables pour les nettoyer par trempage automatisé. Ainsi que le pré-lavage, l'application d'une mousse et le rinçage ne donnent pas de bons résultats. Il faut noter surtout que la détergence doit être effectuée par application à chaud d'un produit non corrosif associée obligatoirement à un brossage.

La conception des équipements, notamment dans l'accessibilité pour des lavages réguliers apparaît comme fondamental dans l'application des réglementations d'hygiène [63].

3.4.5. Technique de nettoyage et de désinfection

3.4.5.1. Protocole de nettoyage-désinfection mis en œuvre

Le nettoyage et la désinfection combinés présentent de nombreux avantages à savoir : économie de temps, de produit, d'eau de rinçage et d'énergie. Mais chaque fois qu'il existe un risque de contamination, on aura tendance à séparer le nettoyage de la désinfection [22].

Dans l'industrie alimentaire, l'opération de nettoyage s'avère être une étape indispensable, préalable à la désinfection. Plus encore, il apparaît vital d'éliminer le plus grand nombre de micro-organismes possible avant d'appliquer un désinfectant, parce que la plupart des désinfectants sont inactivés par la présence de matière organique, et les micro-organismes sont beaucoup plus sensibles aux désinfectants une fois qu'ils ont été détachés des surfaces auxquelles ils adhéraient [20, 90, 53].

Les surfaces en contact avec l'aliment doivent être nettoyées et désinfectées séparément. En revanche, l'extérieur des installations telles que les sols, les murs, les plafonds et les égouts, est nettoyé et désinfecté en une seule opération, par application de mousse. Cette façon d'opérer est courante dans les abattoirs et l'industrie de la viande en générale [22].

Le matériel de petite dimension, comme les couteaux, est amovible, son nettoyage commence par un enlèvement des grosses souillures par brossage, puis un trempage dans un bac de taille appropriée rempli d'une solution de détergent en laissant agir 45 minutes avant de rincer à l'eau, enfin une désinfection par pulvérisation ou immersion avec un désinfectant pendant 20 minutes avant un rinçage finale à l'eau. Ce matériel doit être transporté dans un endroit propre.

Le protocole doit se faire avec une utilisation en alternance des produits alcalins et des produits acides. Il n'existe pas de standards pour déterminer la fréquence d'utilisation de solution acide ; c'est l'expérience sur le site industriel qui permet de déterminer le programme d'alternance des opérations alcalines et acides.

3.4.5.2. Mode d'élimination des souillures

Les agents chargés du nettoyage utilisent seulement des balais brosse pour dégager les surfaces en regroupant et collectant les plus gros déchets et même pour frotter les surfaces présentant des salissures fortement adhérentes, mais ce travail s'effectue normalement en utilisant des raclettes et

des pelles en polyéthylène pour racler les différentes surfaces présentant de gros déchets, et des brosses en plastique après un bref arrosage afin d'éliminer les souillures les plus adhérentes.

Si cette opération n'est pas correctement réalisée, l'étape de nettoyage suivante nécessitera un surcroît de travail et une consommation d'eau plus importante.

3.4.5.3. Mode d'application des produits, concentration, temps d'action et température

L'application des produits sous forme de mousse présente certains avantages par rapport à celle d'une solution liquide : un temps de contact supérieur avec les surfaces sans ruissellement, une meilleure pénétration dans les porosités, une visualisation des surfaces traitées et une meilleure sécurité pour l'opérateur [111]. Une action mécanique (brosse, jets à moyenne et haute pressions) s'avère bien plus efficace pour l'élimination des biofilms. La taille et la structure des équipements ne rendent pas toujours ce type de nettoyage possible [20].

Ce sont principalement la température, le temps de contact et la concentration du désinfectant ou le détergent qui contribuent à l'efficacité du nettoyage et de la désinfection.

La température de la solution détergente, au moment de son utilisation doit également être maîtrisée car elle constitue l'accélérateur des réactions chimiques d'une part, et permet une meilleure solubilisation des souillures d'autre part. Elle ne doit cependant pas être considérée comme pouvant assurer une désinfection. Les températures couramment utilisées dans cette phase de nettoyage, pour la préparation de la solution, se situent entre 45°C et 60°C, et peuvent atteindre 70°C lors d'une application mécanique [67].

Le temps d'application est un paramètre important car la réaction chimique entre le produit et les souillures n'est pas instantanée et demande donc un minimum de temps pour se réaliser entièrement. Le temps de contact nécessaire à la réaction chimique varie en fonction du produit utilisé, des matériaux, des souillures, mais une fois défini, il doit être scrupuleusement respecté (une vingtaine de minutes environ) ; une diminution accidentelle de cette durée entraîne inévitablement une diminution de l'efficacité, mais également une élimination ultérieure de substances encore actives et donc une perte économique.

La concentration du produit recommandée par le fabricant est de 2 %, mais les agents chargés du nettoyage ne respectent pas toujours ces concentrations et cherchent toujours à surdoser les produits, ce qui présente un risque pour les matériaux sans pour autant augmenter l'efficacité et engendrer ainsi un surcroît.

3.4.5.4. Mode d'application de l'eau de pré-lavage et de rinçage

Le rinçage après désinfection, s'il demeure obligatoire dans notre pays [32], ne peut être réalisé dans certaines conditions si l'analyse des risques démontre l'innocuité des résidus de produits de désinfection ou si le fabricant de désinfectant apporte des éléments nécessaires au non rinçage après application.

L'efficacité du nettoyage augmente jusqu'à 40 bars, mais au-delà de 60 bars elle tend au contraire à diminuer. Ceci confirme les récentes recommandations d'utilisation des moyennes pressions, les particules décollées et projetées dans l'air par les hautes pressions se redéposant sur les surfaces nettoyées [45]. Enfin, à pression constante, l'efficacité du nettoyage augmente avec la température. Le couple pression-température optimal pour le nettoyage apparaît ainsi entre 40 bars à 60°C, celui-ci n'étant cependant pas significativement différent du couple 40 bars à 45 °C [78, 48].

Il convient de ne pas projeter l'eau avec une pression excessive, qui pourrait provoquer des anfractuosités ou fissures dans le ciment ou le béton, et offrir des gîtes de repli aux micro-organismes.

Plus la distance buse-surface est importante plus la résistance de l'air agit sur le jet. Une distance de travail entre 10 et 30 cm est un compromis acceptable entre l'efficacité du jet et la rapidité du nettoyage. [111, 48]

Enfin, un rinçage mal conduit peut provoquer la présence dans le produit de résidus de substance de nettoyage et de désinfection indésirables [37].

3.4.6. Caractéristiques des locaux : encombrement et nature des revêtements

Sur le plan de l'hygiène des abattoirs, les sols doivent être [81] :

- lisses afin de faciliter leur nettoyage et donc de limiter la présence de micro-organismes. Mais le revêtement de sol doit être non glissant afin d'éviter les chutes de plain pied et les glissades.
- imperméables, un sol imperméable signifie que l'eau ou d'autres solutions aqueuses ne doivent pas pouvoir passer au travers du matériau. La présence de ces dernières peut en effet poser de nombreux problèmes comme la présence de micro-organismes et la décomposition progressive du matériau ou sa désolidarisation de son support.
- résistants aux agressions, le revêtement de sol doit résister aux agressions qu'il va subir dans les salles de production : chaleur, produits et méthode de nettoyage, sang, graisse, aliments, environnement humide, etc.

- résistants aux chocs mécaniques, par exemple, la chute de couteaux ou d'autres objets pointus ou lourds.

Le choix des revêtements de murs est d'une importance cruciale vis-à-vis de l'hygiène où ils doivent être lisses et faciles à nettoyer. Deux matériaux sont utilisés en revêtement de murs : le carrelage, la faïence et les panneaux. Par ailleurs, la peinture pourrait constituer une solution si le support est effectivement lisse et facile à nettoyer, il faut toutefois faire attention à la durabilité et à la toxicité des peintures.

3.4.7. Fréquence du contrôle de l'efficacité du nettoyage et de désinfection

Cette vérification n'est pas imposée par la législation, mais elle est recommandée tous les jours pour le contrôle visuel, et au moins deux fois par semaine pour le contrôle microbiologique dont les deux tiers du total des échantillons doivent être prélevés sur les matériels au contact avec l'aliment.

Il faut mettre à disposition des agents responsables de l'hygiène un protocole de contrôle directement utilisable en routine, il est nécessaire de proposer des seuils d'interprétation des résultats qui permettent de qualifier le niveau de propreté de chaque site contrôlé et de l'ensemble des salles.

Le contrôle du nettoyage-désinfection est un excellent moyen pour sensibiliser les responsables de l'hygiène et les agents chargés de nettoyage au respect des bonnes pratiques de nettoyage-désinfection et pour optimiser les protocoles mis en œuvre. Il faut donc mettre au point une méthode adaptée au contrôle du nettoyage-désinfection en abattoir de volailles.

CONCLUSION

Le nettoyage et la désinfection à l'abattoir de volailles sont garant de la qualité du produit fini. Ils doivent être considérés comme une étape de fabrication à part entière et non plus comme un simple lavage. Il est donc primordial pour le secteur abattage-découpe d'optimiser les procédés de nettoyage et de désinfection dans leur application et dans leur contrôle.

L'analyse comparative de l'ATPmétrie au dénombrement de la flore totale, nous a permis de déterminer une certaine complémentarité entre ces deux méthodes. Il est donc maintenant possible de faire la distinction entre la phase de nettoyage validée par l'ATPmétrie et la phase de désinfection validée par le dénombrement de la flore totale. L'utilisation des deux méthodes ensemble s'avère la solution la plus judicieuse.

Notre étude révèle que les procédures de nettoyage et de désinfection utilisées ne respectent pas les règles générales d'hygiène, ceci est dû au fait que le personnel chargé des activités de nettoyage n'est pas formé dans ce domaine et qu'il exécute ses travaux en l'absence d'un protocole écrit et validé.

L'application d'un protocole à cinq phases surtout sur les surfaces en contact direct avec l'aliment semble avoir une efficacité assez intéressante vis-à-vis des souillures et des micro-organismes [53]. La réalisation quotidienne d'une procédure efficace de nettoyage-désinfection des surfaces à l'abattoir de volailles paraît être nécessaire afin d'éviter l'accumulation de débris alimentaires sur les surfaces.

La mise en œuvre de telles procédures est obligatoire pour éliminer toutes les souillures organiques surtout après un dessèchement. Elles doivent être basées sur l'utilisation d'un détergent à chaud et accompagnées d'une opération mécanique (brossage).

Pour l'amélioration des procédures du nettoyage-désinfection de l'abattoir de Taboukert, notre étude propose des axes d'amélioration basés principalement sur la formation des agents chargés du nettoyage, l'utilisation des équipements conformes aux règles de conception hygiénique, le remplacement rapide des surfaces usées, rayées ou endommagées et le respect d'un plan de nettoyage désinfection qui doit être mis en place par les vétérinaires de l'abattoir. Celui-ci consistera en un manuel écrit qui spécifiera les procédures de nettoyage-désinfection appliquées à chaque type de surfaces. Les vétérinaires doivent contrôler l'efficacité des procédures.

Par ailleurs, il semble souhaitable de mener des études plus approfondies pour fixer des valeurs d'acceptabilité des UFC et des URL pour chaque type de surface.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ADIV. *Recommandations pratiques d'hygiène pour la fabrication du saucisson sec artisanal : guide pratique* [en ligne]. 2006. Disponible sur : < <http://www.office-elevage.fr/vpc/255/181-CHRISTIEANS.PDF> >. (consulté le 24.07. 2007).
2. AFNOR. *Essais des eaux - Recherche et dénombrement des coliformes et des coliformes thermotolérants - Méthode générale par ensemencement en milieu liquide (NPP)*. NF T90-413. Paris : AFNOR, 1985, 12 p.
3. AFNOR. *Essais des eaux - Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de {Clostridium} sulfito-réducteurs - Méthode générale par incorporation en gélose en tubes profonds*. NF T90-415. Paris : AFNOR, 1985, 8 p.
4. AFNOR. *Microbiologie des aliments : dénombrement des microorganismes par comptage des colonies obtenues à 30 degrés Celsius - Méthode de routine*. NF V08-051. Paris : AFNOR, 1999, 8 p.
5. AFNOR. *Qualité de l'eau - Dénombrement des micro-organismes revivifiables - Comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé*. NF EN ISO 6222. Paris : AFNOR, 1999, 6 p.
6. AFNOR. *Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux - Partie 2 : méthode par filtration sur membrane*. NF EN ISO 7899-2. Paris : AFNOR, 2000, 17 p.
7. AFNOR. *Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes - Partie 1 : méthode par filtration sur membrane*. NF EN ISO 9308-1. Paris : AFNOR, 2000, 18 p.
8. AFSSA. *Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments du 18 janvier 2007 relatif à la demande de création de documents de référence concernant des flores microbiennes utilisables en tant qu'indicateurs d'hygiène des procédés* [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.afssa.fr/Ftp/Afssa/39338-39339.pdf> >. (consulté le 29.10. 2007).
9. ANONYME. Les intoxications alimentaires en Algérie. *Forum ALGERIE - Actualité, débats et sciences - Santé*. Disponible sur : < <http://www.algerie-dz.com/forums/showthread.php?t=55781> > (consulté le 20.05.2008).
10. Arrêté interministériel du 2 juillet 1995 relatif à la mise à la consommation des volailles abattues, p.17. (JORA : 059 du 11-10-1995)
11. Arrêté interministériel du 24 janvier 1998 modifiant et complétant l'arrêté du 23 juillet 1994 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires : critères microbiologiques des eaux et boissons, p. 7. (JORA : 035 du 27 mai 1998)

12. BARILLER, J. Surveillance et validation des opérations de nettoyage et de désinfection. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 221-233.
13. Barly, G. L'hygiène en IAA. *Documents ASEPT*. 1998, p. 22.
14. BAUTISTA, D. A., SPRUNG, D. W., BARBUT, S., GRIFFITHS, M. W. A sampling regime based on an ATP bioluminescence assay to assess the quality of poultry carcasses at critical control points during processing. *Food research international*. 1997, vol. 30, n°. 10, p. 803-809.
15. BAUTISTA, D. A., VAILLANCOURT, J. P., CLARKE R, A., RENWICK, S., GRIFFITHS, M. W. Rapid assessment of the microbiological quality of poultry carcasses using ATP bioluminescence. *Journal of food protection*. 1995, vol. 58, n°. 5, p. 551-554.
16. BELLON-FONTAINE, M. N., CERF, O. La désinfection. **In** : *Nettoyage et désinfection dans les industries alimentaires*. Paris : Edition APRIA. 1988, n°.40, p. 28-52.
17. BESSEMS, E. The effect of practical conditions on the efficacy of disinfectants. *International Biodeterioration & Biodegradation*.1998, n°. 41, p. 77-183.
18. BORCARD, D. *Transformation de données: normalisation, stabilisation des variances* [en ligne]. 1998. Disponible sur : < [http:// www.biol09.biol.umontreal.ca/bio2042/Transf_donn.pdf](http://www.biol09.biol.umontreal.ca/bio2042/Transf_donn.pdf) >. (consulté le 23.03. 2008).
19. BOURION, F. Encrassement des surfaces : souillures minérales, organiques et microbiologiques. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 67-72.
20. BOURION, F. Limites des opérations de nettoyage et de désinfection : les biofilms. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 205-211.
21. BOURION, F., HERMON, C. Les produits de nettoyage et de désinfection : les produits neutres. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 88-90.
22. BOUSSER, C. Combinaison du nettoyage et de la désinfection. **In** : LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Coord. *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1999, p. 257-272. (Sciences techniques et agroalimentaires).
23. BOUTOU, O. Coord. Le contrôle de conformité. **In** : *Management de la sécurité des aliments : de l'HACCP à l'ISO 22000*. Paris : AFNOR. 2006, p. 265-274.

24. CANTONNE, J.C., TOURNIER, R. Corrosion et anticorrosion des matériaux métalliques utilisés dans les équipements et les ateliers bio-industriels : les matériaux métalliques à usage bio-industriel. **In** : LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Coord. *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1999, p. 42-46. (Sciences techniques et agroalimentaires).
25. CASTAING, P. Matériaux constitutifs des surfaces : durabilité des polymères composites. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 50-67.
26. CHARPENTIER, J. L'inspection du nettoyage et de la désinfection. **In** : LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Coord. *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1999, p. 374-382. (Sciences techniques et agroalimentaires).
27. CHMIELEWSKI, R.A.N., FRANK, J.F. Biofilm Formation and Control in Food Processing Facilities. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2003, n°. 2, p. 22-32.
28. COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES. *Rapport de la commission au conseil et au parlement européen, n°.234 final*. Bruxelles, 4-5-2007, 14 p.
29. CORRÉGÉ, I., DE AZEVEDO ARAUJO, C., LE ROUX, A. Mise au point d'un protocole de contrôle du nettoyage et de la désinfection en élevage porcin. *Journées Recherche Porcine*. 2003, n°. 35, p. 419-426.
30. CRIQUELION, J., DURAND, F., OLIVIER, F., RAUWEL, G., SABAT, F. Caractéristiques générales des fonctions chimiques désinfectantes. **In** : LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Coord. *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1999, p. 205-236. (Sciences techniques et agroalimentaires).
31. DAUFIN, G. Prévention de la corrosion dans le nettoyage et la désinfection. **In** : *Compte-rendu de l'atelier-formation « nettoyage et désinfection »*. Laval, 10 décembre 1991, p. 37-63.
32. Décret exécutif n° 91-04 du 19 janvier 1991 relatif aux matériaux destinés à être mis en contact avec les denrées alimentaires et les produits de nettoyage de ces matériaux, p. 62. (JORA : 004 du 23-01-1991)
33. Décret exécutif n° 91-53 du 23 février 1991 relatif aux conditions d'hygiène lors du processus de la mise à la consommation des denrées alimentaires. (JORA : 9 du 27-02-1991)
34. DEMEZIERE, F. Méthodes, matériels, et techniques. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 109-158.

35. Directive 92/116/CEE du Conseil, du 17 décembre 1992, portant modification et mise à jour de la directive 71/118/CEE relative à des problèmes sanitaires en matière d'échanges de viandes fraîches de volaille. (Journal officiel des Communautés européennes : L 062 du 15-03- 1993).
36. Directive du Parlement européen et du Conseil n° 98/8/CE du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides. (Journal officiel des Communautés européennes : L 123/1 du 24 - 4 - 1998).
37. DORNSEIFFEN, J. W. Residue aspects of disinfectants used in the food industry. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 1998, n°. 41, p. 309-312.
38. DOSTÁLEK, P., BRÁNYIK, T. Prospects for Rapid Bioluminescent Detection Methods in the Food Industry – a Review. *Czech J. Food Sci.* 2005, vol. 23, n°. 3, p. 85–92.
39. EDELMEYER, H., YVERNAULT, J. C. Nettoyage et désinfection dans les industries de la viande. *Alimentation*. 1991, n°. 85, p. 159-167.
40. EHAVALD, H., SALEJ, A., ÇALIŞKAN, H., et al. Food process hygiene, effective cleaning and safety in the food industry. **In**: *Microbial contaminants and contamination routes in food industry - 1ST open seminar arranged by SAFOODNET*. Finland : Gun Wirtanen and Satu Salo. JAN 22-23, 2007, p. 129-144.
41. ESTRELA, C., ESTRELA, C. R. A., BARBIN, L., *et al.* Mechanism of Action of Sodium Hypochlorite. *Braz Dent J* .2002, vol. 13, n°. 2, p. 113-117.
42. EUROPEAN HYGIENIC EQUIPMENT DESIGN GROUP-ASEPT. La conception des équipements. **In** : BOURGEOIS, C.M., MESCLE, J.F., ZUCCA, J. Coord. *Microbiologie alimentaire-Tome1 : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1994, p. 455-456. (Sciences techniques et agroalimentaires).
43. FOURNAUD, J. Contamination aux différents stades. **In** : *Hygiène et technologie de la viande fraîche*. Paris : Editions du centre national de la recherche scientifique. 1982, p. 133-136.
44. FRAISE, A. Choosing disinfectants. *Journal of Hospital Infection*. 1999, n°. 43, p. 255-264.
45. FRENCIA, J. P. Les facteurs d'efficacité du nettoyage. *Viandes et produits carnés*. 1999, vol. 20, n°. 1, p. 3-8.
46. FUNG, D.Y.C. Rapid Methods and Automation in Microbiology. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2002, n°. 1, p. 3-32.
47. GEORNARAS, I., JESUS, A.E., ZYL, E., HOLY, A. Bacterial populations associated with poultry processing in a South African abattoir. *Food Microbiology*. 1996, n°. 13, p. 457–465.

48. GIBSON, H., TAYLOR, J. H., HALL, K. E., HOLAH, J. T. Effectiveness of cleaning techniques used in the food industry Biofilm. *Journal of applied microbiology*. 1999, n°. 87, p. 41-48.
49. GILBERT, P., MC BAIN, A. J. Potential Impact of Increased Use of Biocides in Consumer Products on Prevalence of Antibiotic Resistance. *Clinical microbiology reviews*. 2003, vol. 16, n°. 2, p. 189–208.
50. GRIFFITHS, M. W. *Current issues HACCP application to poultry processing* [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.veterinaria.uchile.cl/publicacion/VIIIpatologia/SEMINARIOS/semi4.pdf>>. (consulté le 18.09. 2007).
51. GUERIN, M. Le nettoyage : les produits. *RTVA*. 1986, jan-fev, p. 10-22.
52. GUYADER, P., AMGAR, A., COIGNARD, M. La désinfection: la vérification et la validation de l'efficacité des opérations de désinfection. **In** : BOURGEOIS, C.M., MESCLE, J.F., ZUCCA, J. Coord. *Microbiologie alimentaire-Tome1 : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1996, p. 451-455. (Sciences techniques et agroalimentaires).
53. GUYADER, P., AMGAR, A., COIGNARD, M. La mise en œuvre de la désinfection. **In** : BOURGEOIS, C.M., MESCLE, J.F., ZUCCA, J. Coord. *Microbiologie alimentaire-Tome1 : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1996, p. 446-451. (Sciences techniques et agroalimentaires).
54. HASAN, F., ALI SHAH, A., HAMEED, A. Industrial applications of microbial lipases. *Enzyme and Microbial Technology*. 2006, n°. 39, p. 235–251.
55. HAWRONSKYJ, J.M., HOLAH, J. ATP: A universal hygiene monitor. *Trends in Food Science & Technology*. 1997, n°. 8, p. 79-84.
56. HERMON, C., AMGAR, A. Sécurité du personnel liée aux opérations de nettoyage et de désinfection. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 199-204.
57. ISO. *Microbiologie des aliments : préparation des échantillons, de la suspension mère et des dilutions décimales en vue de l'examen microbiologique - Partie 1: Règles générales pour la préparation de la suspension mère et des dilutions décimales*. ISO 6887-1, Genève : ISO, 1999, 5p.
58. ISO. *Qualité de l'eau-Dosage de la somme du calcium et du magnésium -Méthode titrimétrique à l'EDTA*. ISO 6059, Genève : ISO, 1984, 4p.
59. JAY, J. M. Culture, Microscopic, and Sampling Methods: Microbiological examination of surfaces. **In** : *Modern Food Microbiology-Sixth Edition*. Maryland: Aspen publication. 2000, p. 209-211.

60. JAY, J .M. Physical, chemical, molecular, and immunological methods : adenosine triphosphate measurement. **In** : *Modern Food Microbiology-Sixth Edition*. Maryland : Aspen publication. 2000, p. 188-190.
61. JESSEN, B., LAMMERT, L. Biofilm and disinfection in meat processing plants. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2003, n°. 51, p. 265 – 269.
62. JOHANSEN, C., FALHOLT, P., GRAM, L. Enzymatic Removal and Disinfection of Bacterial Biofilms. *Applied and environmental microbiology*. Sept. 1997, vol. 63, n°. 9, p. 3724–3728.
63. JOUVE, J. L. Coord. Maîtrise de la qualité microbiologique. **In** : *La qualité microbiologique des aliments : maîtrise et critères*. Paris : Polytechnica. 1996, p. 343-352.
64. JUBIN, L. Corrosion des surfaces. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 212-216.
65. JULIO, V. Application du système HACCP au nettoyage et à la désinfection. **In** : *Compte-rendu de l'atelier-formation « nettoyage et désinfection »*. Laval, 10 décembre 1991, p. 69-79.
66. KESSLER, H. G. Formation des dépôts et encrassement. **In** : LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Coord. *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1999, p. 143-164. (Sciences techniques et agroalimentaires).
67. KLUGER, D. Les quatre facteurs de l'hygiène dans l'industrie de la viande. *R.T.V.A.* 1978, n°. 140, p. 42-43.
68. LAHELLEC, C., SALVAT, G., COLIN, P. Viandes de volailles. **In** : BOURGEOIS , C.M., MESCLE, J.F., ZUCCA, J. Coord. *Microbiologie alimentaire-Tome1 : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1996, p. 313-329. (Sciences techniques et agroalimentaires).
69. LANGSRUD, S., SIDHU, M. S., HEIR, E., HOLCKA, A. Bacterial disinfectant resistance-a challenge for the food industry. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2003, n°. 51, p. 283 – 290.
70. LAVOISIER. *Microbiologie des aliments - Règles générales pour le comptage des colonies et pour l'expression des résultats*. XP V08-102. Paris : LAVOISIER, 1998, 40p.
71. LEITAO, J. Organisation des opérations de nettoyage et de désinfection. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 159-198.
72. LEPOUTRE, A., SALOMON, J., CHARLEY, C., et LE QUERREC, F. Les toxi-infections alimentaires collectives en 1993. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*. 1994, n°. 52, p. 245-247.

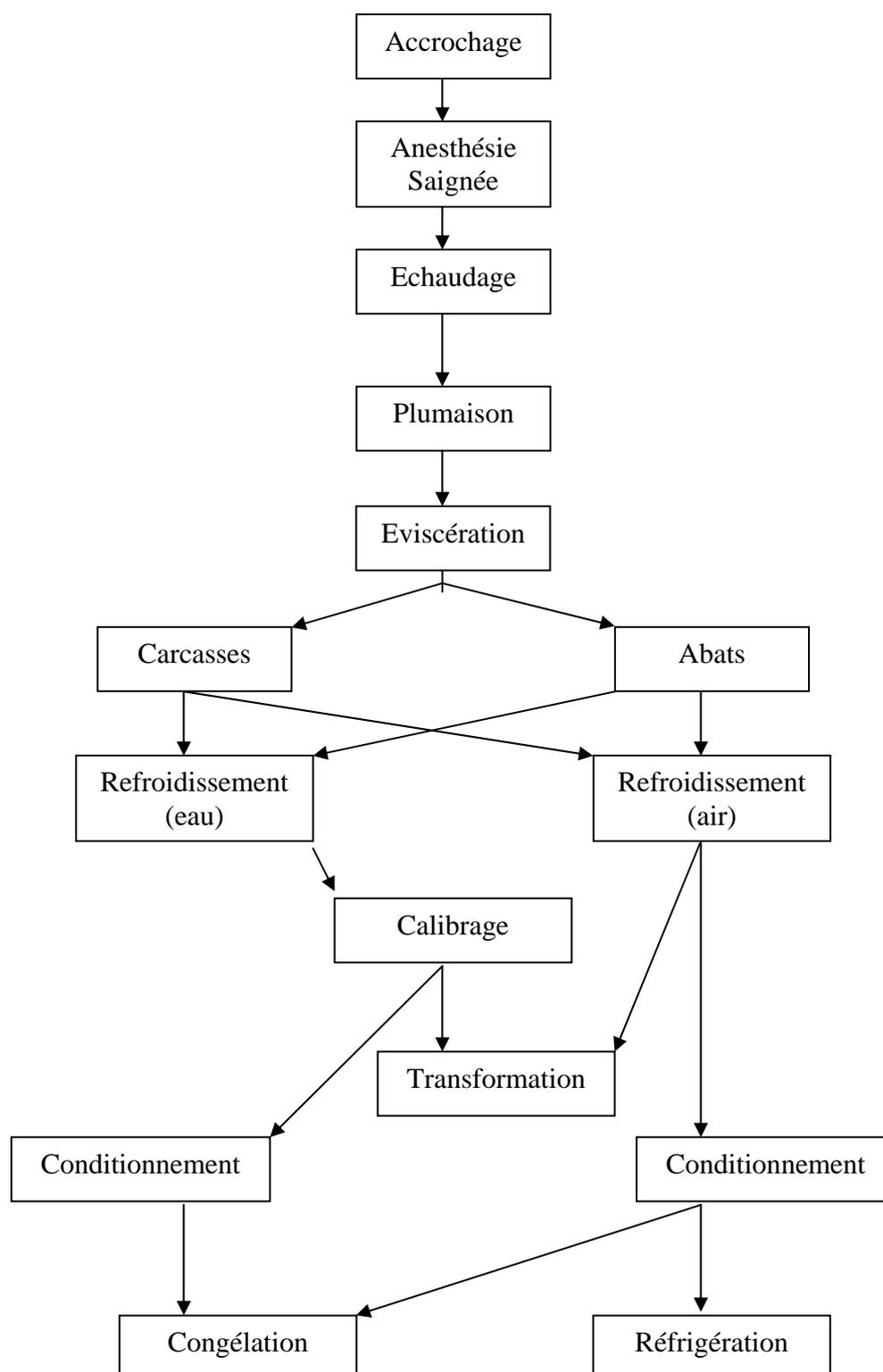
73. MARIS, P. Les aspects législatifs et normatifs. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 19-30.
74. MARK, C. M., LOOSDRECHT, V., LYKLEMA, J. Influence of Interfaces on Microbial Activity. *Microbiological reviews*.1990, vol. 54, n°. 1, p. 75-87.
75. MARTIN-COCHET, J. Avantages et limites de la moyenne pression dans le nettoyage et la désinfection des ateliers de fabrication. **In**: *Compte-rendu de l'atelier-formation « nettoyage et désinfection »*. Laval, 1 décembre 1992, p. 47-53.
76. MCDONNELL, G., DENVER RUSSELL, A. Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance. *Clinical microbiology reviews*. 1999, vol. 12, n°. 1, p. 147–179.
77. MEYER, B. Approaches to prevention, removal and killing of biofilms. *International Biodeterioration & Biodegradation*.2003, n°. 51, p. 249 – 253.
78. MINVIELLE, B. Contrôle du nettoyage et de la désinfection : l'ATPmétrie en complément du contrôle microbiologique. *Viandes et produits carnés*. 2000, vol. 21, n°. 1, p. 11-18.
79. MOLINIER, M. Les produits de désinfection : fonctions actives, formulation **In** : CORRIEU, G., LALANDE, M., LEVEAU, J.Y. Coord. *Gestion et maîtrise du nettoyage et de la désinfection en agroalimentaire*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1985, p. 173-195.
80. MONTZEY, S., CORREGE, I. Intérêt de la réalisation d'une désinfection par voie aérienne dans les ateliers de découpe et chambres froides. *Techni-porc*. 1998, vol. 21, n°. 3, p. 15-17.
81. MORA, J. M. Les locaux. **In** : *Guide de bonnes pratiques hygiénique : transformation et commercialisation de volailles et de porcs*. Paris : Les éditions des journaux officiels. 2004, p. 34-56.
82. MORA, J. M. Nettoyage et désinfection. **In** : *Guide de bonnes pratiques hygiénique : transformation et commercialisation de volailles et de porcs*. Paris : Les éditions des journaux officiels. 2004, p. 57-90.
83. MOURCEL, P. Les produits de nettoyage et de désinfection : les détergents alcalins et alcalins chlorés. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 75-81.
84. MOURCEL, P. Les produits de nettoyage et de désinfection : les détergents acides. **In** : ALBERT, A. Coord. *Nettoyage et désinfection dans les entreprises alimentaires*. Laval : ASEPT. 1998, p. 82-87.

85. Note de service française DGAL/SDSSA/N2007-8275 du 14 novembre 2007. Critères microbiologiques applicables aux carcasses d'animaux de boucherie et de volailles, et lignes directrices relatives aux contrôles de surface du matériel en abattoir et en atelier de découpe d'animaux de boucherie et de volailles.
86. PIERRE, V., TCHAKAMIAN, S., et LE QUERREC, F. Les toxi-infections alimentaires collectives en 1994. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*. 1996, n°. 21, p. 93-95.
87. PLUSQUELLEC, A., LEVEAU, J.Y. Le contrôle du matériel, de l'atmosphère, du personnel. In : BOURGEOIS, CM., LEVEAU, J.Y. Coord. *Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires-Volume3 : le contrôle microbiologique*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1991, p. 438-450. (Sciences techniques et agroalimentaires).
88. PYEN.J.L. Les produits de nettoyage : principes actifs, mode d'action. In : CORRIEU, G., LALANDE, M., LEVEAU, J.Y. Coord. *Gestion et maîtrise du nettoyage et de la désinfection en agroalimentaire*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1985, p. 89-97.
89. Règlement du Parlement européen et du Conseil n° 648/2004 du 31 mars 2004 relatif aux détergents. (Journal officiel des Communautés européennes : L 104/1 du 8 - 4 - 2004).
90. REUTER, G. Disinfection and hygiene in the field of food of animal origin. *International Biodeterioration & Biodegradation*.1998, n°. 41, p. 209-215
91. RIQUET. M. Bio contamination des matériaux au contact des aliments. *La revue trimestrielle du réseau Ecrin* [en ligne]. 2006, n°6. Disponible sur : <<http://www.ecrin.asso.fr/system/files?file=rts65-d2.pdf>>. (consulté le 29.10.2007).
92. ROSSET, R., LEBERT, F. Les règles d'hygiène envisageables aux différents stades de la filière viande : principes. In : *Hygiène et technologie de la viande fraîche*. Paris : Editions du centre national de la recherche scientifique. 1982, p. 277-280.
93. ROUANET, H., LECLERC, B. Le rôle de la distribution normale en statistique. *Mathématique et sciences humaines*. 1970, n°. 32, p. 57-74.
94. ROZIER, J., CARLIER, V., BOLNOT. *Bases microbiologiques de l'hygiène des aliments*. Paris : SEPAIC. 1985, p. 205.
95. RUSSELL, A. D. Biocide use and antibiotic resistance: the relevance of laboratory findings to clinical and environmental situations. *The Lancet Infectious Diseases*. 2003, n°. 3, p. 794-803.
96. SALVAT, G., ALLO, J.C., COLIN, P. Evolution of Microbiological Contamination of Poultry Carcasses during Slaughtering : a survey on 12 french abattoirs. In : *Qualité des Produits Avicoles". 11ème Symposium Européen sur la Qualité de la viande de volaille*. Tours, France. 4-8 Octobre 1993, p. 562-568.

97. SCHMIDT, R. H. *Basic elements of equipment cleaning and sanitizing in food processing and handling operations* [en ligne]. 1997. Disponible sur <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/FS/FS07700.pdf>> (consulté le 29.10.2007).
98. SCHMIDT, R. H., ERICKSON, D. J. *Sanitary Design and Construction of Food Equipment* [en ligne]. 2005. Disponible sur : <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/FS/FS11900.pdf>> (consulté le 29.10.2007).
99. SEWARD, S. *Principes de conception hygiénique pour les procédés de transformation de la viande* [en ligne]. 2006. Disponible sur : <<http://www.ehedg.fr/uppdf/Traduction%20NEWFOOD%201%202006%20AMI.pdf>>. (consulté le 24.09. 2007).
100. SOUCIET, L. H. Evolution des travaux européens sur les produits désinfectants : perspectives sur les produits désinfectants. . **In**: *Compte-rendu de l'atelier-formation « nettoyage et désinfection »*. Laval , 1 décembre 1992, p. 11-19.
101. SOYER, P., GOEUSSE, A. Les détergents, leurs utilisations en industries alimentaires et pharmaceutiques. **In**: *Compte-rendu de l'atelier-formation « nettoyage et désinfection »*. Laval, 1 décembre 1992, p. 19-29.
102. SQUIRRELL, D.J., PRICE, R.L., MURPHY, M.J. Rapid and specific detection of bacteria using bioluminescence. *Analytica Chimica Acta*. 2002, n°.457, p. 109–114.
103. SUNDHEIM, G., LANGSRUD, S., HEIR, E., HOLCK, A. L. Bacterial resistance to disinfectants containing quaternary ammonium compounds. *International Biodeterioration & Biodegradation*.1998, n°. 41, p. 235-239.
104. TISSIER, J.P., LECLERCQ-PERLAT, M. N., CERF, O. Modélisation. **In** : LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Coord. *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries*. Paris: Lavoisier Tec & Doc. 1999, p. 275-308. (Sciences techniques et agroalimentaires).
105. TOMPKIN, R.B. HACCP in the meat and poultry industry. *Food Control*.1994, vol. 5, n°. 3, p. 153-161.
106. TSOLA. E., DROSINOS, E.H., ZOIPOULOS, P. Impact of poultry slaughter house modernisation and updating of food safety management systems on the microbiological quality and safety of products. *Food Control*. 2008, n°. 19, p. 423–431.
107. TURNER, K., SERANTONI, M., BOYCE, A., WALSH, G. The use of proteases to remove protein-based residues from solid surfaces. *Process Biochemistry*. 2005, n°. 40, p. 3377–3382.
108. VINCENT, J. La chimie du nettoyage. **In** : LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Coord. *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1999, p. 167-204. (Sciences techniques et agroalimentaires).

109. WIKIPEDIA: L'ENCYCLOPEDIE LIBRE. *Dureté de l'eau* [en ligne]. Disponible sur : < http://fr.wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_de_l'eau >. (consulté le 24.09. 2007).
110. WOLKOFF , P.,U, SCHNEIDERA, T., KILDES, J., et al. Risk in cleaning: chemical and physical exposure. *The Science of the Total Environment*.1998, n°. 215, p. 135-156.
111. ZUSATZ, R., MONTLAHUC, G. Réalisation industrielle du rinçage, du nettoyage et de la désinfection. **In** : LEVEAU, J.Y., BOUIX, M. Coord. *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries*. Paris : Lavoisier Tec & Doc. 1999, p. 309-339. (Sciences techniques et agroalimentaires).

ANNEXES

ANNEXE 1 : Abattage de volailles, diagramme de la préparation [63]**Figure 19** : Abattage de volailles, diagramme de la préparation

ANNEXE 2.

2.1. Spectre d'activité des principales familles des désinfectants [36].

Tableau 13.

	Spectre d'activité						
	Bactériophages	Virus	Gram +	Gram -	Spores bactériennes	Levures	Moisissures
Eau chaude	+	+	+	+	+	+	+
Chlore actif	++	++	++	++	+	++	+
Iodophores	+	+	++	++	+	++	++
Peroxyde d'hydrogène	+	+	++	++	+	+	+
Acide péracétique	++	++	++	++	++	++	+
Composés d'ammonium quaternaire	•	•	++	+	•	++	+
Aldéhydes	+	+	+	+	+	+	+

++ : Produits actifs.

+ : Produits inconstamment actifs.

• : Produits inactifs.

2.2. Liste des normes d'évaluation de l'activité des antiseptiques et des désinfectants [73].

Tableau 14.

CODE	TITRE
NF T 72-150	Activité bactéricide, méthode par dilution
NF T 72-151	Activité bactéricide, méthode par filtration
NF T 72-170	Activité bactéricide, en présence de substances interférentes, méthode par dilution
NF T 72-171	Activité bactéricide, en présence de substances interférentes, méthode par filtration
NF T 72-190	Activité bactéricide, fongicide et sporicide, méthode des portes germes
NF T 72-200	Activité fongicide, méthode par dilution
NF T 72-201	Activité fongicide, méthode par filtration
NF T 72-230	Activité sporicide, méthode par dilution
NF T 72-231	Activité sporicide, méthode par filtration
NF T 72-281	Activité bactéricide, fongicide et sporicide
NF T 72-180	Activité virucide
NF T 72-181	Activité virucide vis-à-vis des bactériophages
NF T 72-300	Efficacité des produits sur micro organismes en conditions pratiques d'emploi, par dilution
NF T 72-301	Efficacité des produits sur micro organismes en conditions pratiques d'emploi, par filtration

ANNEXE 3. Les principales techniques d'évaluation de la contamination aéroportée [12].**Tableau 15.**

Méthodes	Principe	Avantages	Inconvénients
Exposition de boîtes de pétri ouvertes	- Collecte des micro-organismes sédimentant par gravité sur la surface gélosée d'une boîte de pétri ouverte pendant un maximum de 20 minutes.	- Mise en œuvre simple, - Faible coût.	- Sélection des germes (les plus gros), Phénomène d'agglutination, Faible surface, Quantification, Assèchement des boîtes, Interprétation difficile.
Collecteur d'air par collision	- Collecte des germes dans un liquide	- Bonne efficacité.	- Appareil fragile, manipulation rigoureuse.
Collecteur d'air par impaction	- Collecte des germes sur un milieu gélosé	- Bonne efficacité, - Utilisation possible de boîtes de pétri standard.	- Efficacité variable selon les matériels, - Prendre garde au phénomène de saturation de l'appareil.
Collecteur d'air par filtration	- Filtration sur membrane puis dépôt de la membrane sur une surface gélosée.	- Faible coût, Simplicité, - Bonne efficacité pour les levures et les moisissures.	- Manque d'efficacité sur les bactéries (phénomène de stress dû à la déshydratation).
Collecteur d'air par centrifugation	- Aspiration d'air et projection des particules par force centrifuge sur une surface gélosée.	- Facilité d'emploi, - Faible coût de l'appareil.	- Ne détecte pas les petites tailles ($0 < 1 \mu\text{m}$), - Nécessite d'utiliser des bandelettes gélosées spécifiques.

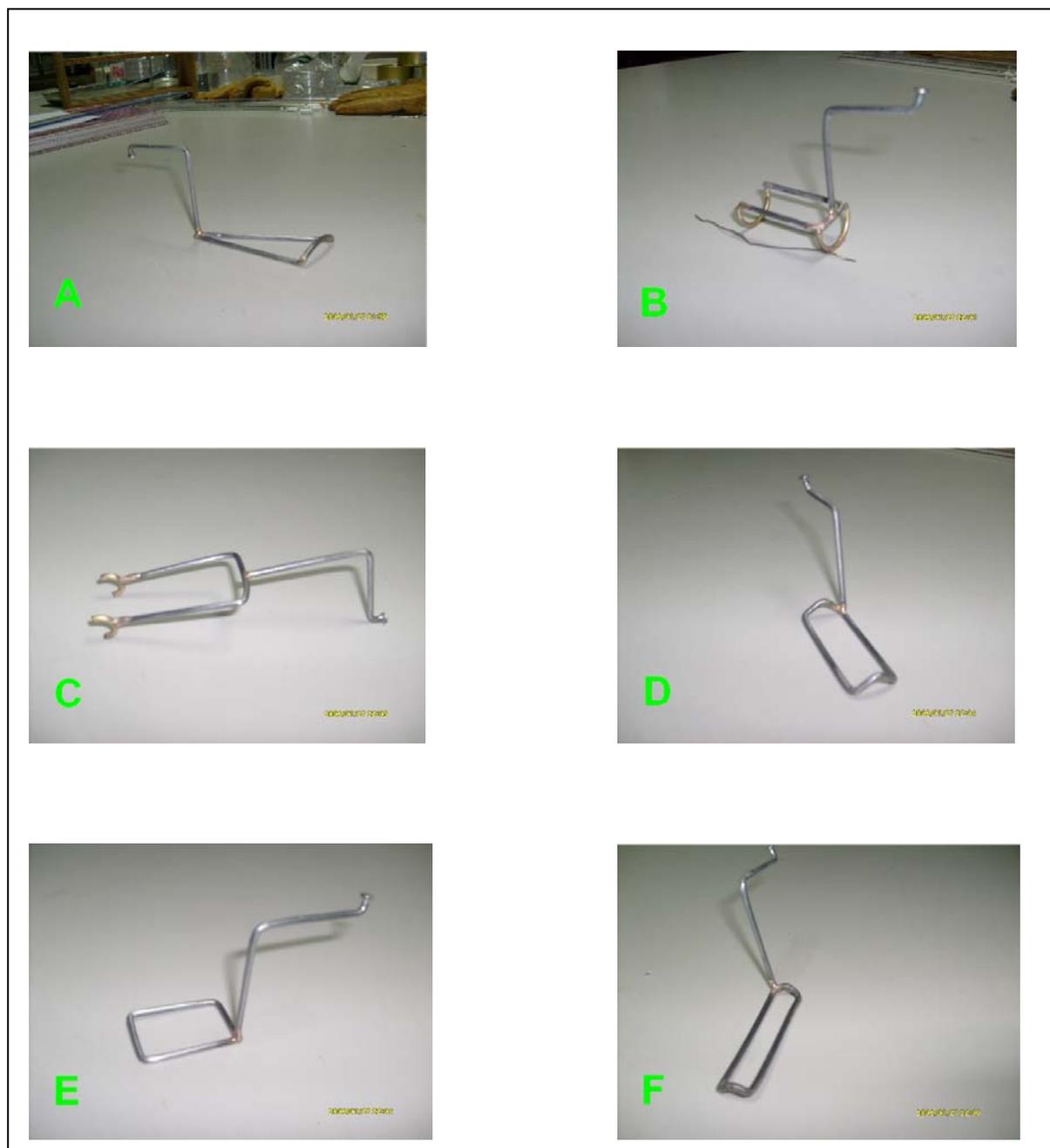
ANNEXE 4 : Gabarits pour prélèvements (fabrication personnelle)

Figure 20 : Gabarits utilisés pour les prélèvements sur les dix surfaces choisies.

A : sur la tuyère de la laveuse interne. **B** : sur les doigts plumés.

C : sur la cuillère de l'éviscéreuse. **D** : sur l'arrache-têtes.

E : sur le bac d'échaudage, couteaux, craqueur de cou, glissière

et bande transporteuse de carcasses. **F** : sur les paniers. (Photos personnelles)

ANNEXE 5 :**5.1. Grille d'observation des procédures de nettoyage-désinfection****Tableau 16.**

Points analysés	Observations
- Conception des locaux et des équipements	
- Caractéristiques des locaux : (encombrement et nature des revêtements)	
- Etat des surfaces d'équipements (corrosion, vieillissement, encrassement, etc.)	
- Tenue des opérateurs (Port des gants, blouse, masques à gaz, lunettes, etc.)	
- Matériel et équipements de nettoyage (Canon à mousse, lance à eau, pulvérisateur, pelles, balais, brosses, etc.)	
- Produits d'hygiène (Détergents, désinfectants)	
- Eau de nettoyage (Décontamination, Adoucissement)	
- Technique de nettoyage-désinfection (protocole, conditions d'application des produits et de l'eau : mode et temps d'application, concentration, pH et température)	
- Fréquence des opérations de nettoyage-désinfection	
- Fréquence du contrôle microbiologique des surfaces	

5.2. Modèle d'entretien avec le personnel impliqué dans les opérations de nettoyage-désinfection

- Nom et prénom :
- Fonction :

01- Avez- vous reçu une formation de base en matière d'hygiène?

Oui /__/ Non /__/

02- Avez-vous pu bénéficier de formation(s) continue(s) en matière de nettoyage-désinfection?

Oui /__/ Non /__/

03- Etes- vous sensibilisés aux risques de santé liés aux opérations de nettoyage-désinfection?

Oui /__/ Non /__/

04- Est- ce que vous faites le nettoyage et la désinfection selon un planning préétabli ?

Oui /__/ Non /__/

RESUME

Les caractéristiques de la technique d'ATPmétrie ont permis d'envisager son utilisation pour l'évaluation du nettoyage et de la désinfection des surfaces dans les abattoirs de volailles.

La première partie du travail a consisté à établir une comparaison entre cette technique d'ATPmétrie avec la méthode classique d'écouvillonnage pour le dénombrement de la flore totale sur dix surfaces d'équipements en contact direct avec les carcasses. Il s'est avéré qu'il existe une relation linéaire entre les valeurs logarithmiques des URL/cm² et des nombres d'UFC/cm² mesurés après une incubation de 72 heures à 30 °C sur gélose PCA. Le coefficient de corrélation obtenu sur 398 échantillons réalisés était de 0,57. Ces résultats ont permis d'envisager une prédiction du seuil d'acceptabilité des URL à partir d'un seuil d'acceptabilité des UFC fixé par la réglementation.

Ainsi, dans la deuxième partie de ce travail, l'évaluation de la conformité du nettoyage et de la désinfection des équipements a montrée que la situation est loin d'être satisfaisante : 85% des prélèvements des dix surfaces analysées révèlent une différence très hautement significative ($p < 0,001$) par rapport aux seuils d'acceptabilité des deux méthodes de contrôle.

Au niveau de l'application des procédures de nettoyage et de désinfection, l'absence d'un protocole écrit, définissant la fréquence et les techniques de nettoyage, en plus d'un faible encadrement des agents chargés de nettoyage font que ces procédures sont souvent mal pratiquées.

Mots clés : abattoir de volailles, hygiène, méthodes de contrôle, ATPmétrie.

SUMMARY

The characteristics of the ATPmetry technique made it possible to consider its use for the evaluation of cleaning and disinfection of surfaces in the poultry slaughterhouses.

The first part of this work consisted in establishing a comparison between this technique of ATPmetry and the traditional method of cleaning for the enumeration of the total aerobic mesophilic flora on ten surfaces of equipment in direct contact with the carcasses. It has been demonstrated that there is a linear relationship between the log number of RLU/cm² and the log amount of CFU/cm² measured after an incubation period of 72 hours at 30 °C on Plate Count Agar "PCA". The coefficient of correlation obtained on 398 samples was 0,57. These results allow as to establish a method of predicting the threshold of acceptability of the RLU starting from a threshold of acceptability of the CFU fixed by the regulations.

Therefore, in the second part of this work, the evaluation of the conformity of the cleaning and the disinfection of the equipment showed that the situation is far from being satisfactory: 85% of the taking away of ten analyzed surfaces revealed a difference that is very highly significant ($p < 0,001$) compared to the thresholds of acceptability of the two control methods.

On the level of the application of the procedures of cleaning and disinfection : the absence of a written protocol ; defining the frequency and the techniques of cleaning, in addition to the weak framing of the agents in charge of cleaning ; make that these procedures were often badly practised.

Keywords: Poultry slaughterhouse, hygiene, control methods, ATPmetry

ملخص

إن مميزات التقنية الضيائية الحية تسمح بالتطلع إلى استعمالها في تقييم تنظيف و تطهير سطوح مسالخ الدواجن.

يقوم الجزء الأول من هذا العمل على مقارنة هذه التقنية بطريقة المسح النموذجية لتعداد (*LA FLORE TOTALE*) في عشرة مواضع للمعدات الملامسة لهياكل الدواجن. لقد اتضح بأنها توجد علاقة خطية بين القيم اللوغاريتمية لوحداث : *URL* و وحدات : *UFC* المقاسة بعد حضان لمدة 72 ساعة في درجة حرارة 30 مئوية باستعمال جيلوزر : *PCA* . كما أن معامل الترابط المحصل عليه من 398 عينة كان : 0.57. سمحت هذه النتائج بتنبؤ عتبة قبول : *URL* إعتبارا من عتبة قبول : *UFC* المقررة في لوائح التنظيم.

فيما يخص الجزء الثاني من هذا العمل، فإن تقييم مطابقة فعالية تنظيف و تطهير المعدات بينت أن الوضعية ليست مرضية. 85 % من العينات المحللة كشفت أن الفروق الإحصائية المعبرة جد عالية ($P < 0,001$) مقارنة بعتبات القبول في كلتا طريقتي المراقبة.

بالنسبة لتطبيق إجراءات التنظيف و التطهير، غياب صيغة محررة تعرف بتقنيات التنظيف الواجب ممارستها مع مدى استعمالها بالإضافة إلى ضعف تأطير العمال المكلفين بهذا العمل أدت إلى سوء تطبيق هذه الإجراءات.

الكلمات الأساسية :

مسالخ الدواجن، نظافة صحية، طرق المراقبة، التقنية الضيائية الحية.