



ENSP

ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : 2002 - 2003

**EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES BIOLOGIQUES LIES A
L'EPANDAGE DE BOUES ISSUES D'ABATTOIRS
DE PORCS ET DE VOLAILLES :**

ETUDE DE FAISABILITE DANS LE CONTEXTE FRANCAIS

Présenté par :

Emmanuel POMPEE

Diplômé de l'ENSIL

Lieu de stage : INERIS

Accompagnant professionnel :

Laure DELERY

Référent pédagogique :

Michèle LEGEAS

Remerciements

Je remercie tout d'abord Laure DELERY, mon accompagnant professionnel, pour m'avoir confié ce sujet et pour m'avoir laissé une grande autonomie dans mes investigations.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à Madame Michèle LEGEAS, mon référent pédagogique, pour sa disponibilité et pour l'ensemble de ses conseils avisés qui m'ont permis de recadrer et d'enrichir mon travail.

Enfin, mes remerciements s'adressent à l'ensemble des correspondants et partenaires que j'ai été amené à côtoyer et à interroger sur cette problématique ainsi qu'à l'ensemble des membres de l'unité " Evaluation des Risques Sanitaires " (ERSA) pour mon accueil et mon intégration.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est **d'estimer la pertinence et la faisabilité de mener une évaluation des risques sanitaires biologiques** liés à l'épandage des boues issues d'abattoirs spécialisés dans l'abattage de porcs et de volailles.

Il a permis d'obtenir **une vision globale des pratiques en terme de traitement et d'épandage des boues d'épuration générées par ces abattoirs**. Cette caractérisation des abattoirs était indispensable à l'acquisition de données de base pour l'évaluation des risques et notamment pour l'identification des dangers (sélection des germes pathogènes d'intérêt) et l'évaluation de l'exposition (recherche des voies d'exposition et des scénarios les plus pertinents). Ainsi, **neuf bactéries** (*Campylobacter jejuni* et *coli*, *Clostridium botulinum* et *perfringens*, *Escherchia coli entéropathogène*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* et *typhimurium*, *Yersinia enterocolitica*) et **un parasite** (*Cryptosporidium parvum*) ont été sélectionnés. Leur pertinence a été estimée selon les critères de sélection fixés dans un arbre décisionnel préalablement établi. Cette sélection a été le fruit d'une véritable interprétation au cas par cas en fonction du nombre de critères renseignés et de leur poids hiérarchique.

Les deux voies de contamination les plus probables (une pour l'homme et une pour les animaux) ont également été retenues :

- **l'ingestion directe de boues par les opérateurs responsables de l'épandage,**
- **l'ingestion de végétaux et de sol par des ruminants ou des animaux sauvages** qui paissent dans un champ ou des cultures contaminés.

Cette sélection a fait suite à l'examen des différentes voies de contamination raisonnablement envisageables et leur confrontation aux pratiques normales et réglementaires d'épandage et d'hygiène. Les caractéristiques intrinsèques et le devenir dans l'environnement des organismes d'intérêt ont également été pris en compte.

Cependant, ce travail n'a pu déboucher sur une évaluation quantitative du risque. En effet, **en l'état actuel des connaissances, il est impossible de faire une étude qui soit suffisamment réaliste pour permettre cette quantification**. Des données étaient manquantes telles que le gisement des boues produites, les prévalences animales, les concentrations en pathogènes dans les boues, les taux d'abattement des filières de traitement, les relations dose-réponse ou les DMI. Ainsi, elle fait **ressortir l'importance des besoins en matière de recherche et d'étude**, besoins qui ont été identifiés et hiérarchisés en fonction **des domaines techniques, sanitaires et environnementaux**. De plus, grâce à cette étude, **les installations et les pratiques les plus problématiques d'un point de vue sanitaire ont pu être identifiées** : ce sont **les petites structures d'abattage** du fait du traitement arbitraire voire absent de leurs boues ainsi que du manque de gestion et de contrôle de leur épandage. Dans un cadre plus général, **l'épandage des lisiers, des fientes et des fumiers issus de l'élevage et des structures d'abattage**, semble être une source non négligeable de pathogènes.

Enfin, la gestion du risque ne nécessitant pas forcément une évaluation quantitative, des **mesures au niveau des élevages, des pratiques et des opérateurs d'épandage ainsi qu'au niveau de l'exposition des populations**, ont été proposées pour **limiter et maîtriser ce risque biologique**.

Abstract

The aim of this report is to study the relevance and the feasibility to assess the human risk linked with the spreading of sludge from specialized slaughterhouses of pigs and poultry.

Thanks to this study, an actual state of treatment and spreading of sludges could be made. The characterization of the slaughterhouses was necessary to collect essential data for the health risk assessment, in particular for the hazard identification and characterization. Nine bacteria (*Campylobacter jejuni* et *coli*, *Clostridium botulinum* and *perfringens*, *Escherchia coli* entéropathogènes, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *typhimurium*, *Yersinia enterocolitica*) and one parasite (*Cryptosporidium parvum*) have been selected. Their relevance was estimated according to the criteria of selection determined by a tree of decision. This selection was the result of a real interpretation, case by case, according to the number of known criteria and their hierarchical weight.

Two ways of contamination (one for the human and one for the animals) were also selected :

- the direct ingestion of sludge by the operators of the spreading,
- the ingestion of vegetables and ground by ruminants or wild animals which graze in contaminated fields or cultures.

The examination of the various ways of contamination and their comparison with the regulated and statutory practices of spreading and sanitation, the characteristics of the pathogens and the environmental transfer, allowed this selection.

However, a quantitative health risk assessment couldn't be performed. Indeed, it is impossible to make a study which is enough realistic to allow this quantification. Data such as volume of produced sludge, animal prevalence, the concentrations of pathogenes, the dose-response relations, ..., were lacking. So, the needs of knowledge in technical, health and environmental fields have been identified. Furthermore, thanks to this study, the french slaughterhouses and practices of sanitary interest could be targeted. Due to their arbitrary treatment of sludge and their lack of management and control of spreading, the small slaughterhouses are the most important from a biological health risk point of view. At last, the spreading of manure seems to generate a biologic health risk for breedings and slaughterhouses.

Finally, measures on the breedings, the practices, the operators of spreading and on the exposure of the populations were proposed to control and manage the risk.

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Listes des acronymes

Glossaire

CONTEXTE	1
OBJECTIFS	2
PARTIE 1 : CARACTÉRISTIQUES DES ABATTOIRS DE PORCS ET DE VOLAILLES..	3
I. CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET RÉGLEMENTAIRE.....	3
I.1 <i>Contexte économique et localisation géographique de la filière viande</i>	3
I.2 <i>Législation</i>	6
I.2.1 Textes communs aux abattoirs, équarrissages et centres de transit	6
I.2.2 Réglementation spécifique aux abattoirs	8
I.2.3 Règlement européen n°1774/2002 du 3 octobre 2002.....	8
II. ASPECTS STRUCTURELS ET FONCTIONNELS	8
II.1 <i>Organisation de la filière d'abattage</i>	8
II.1.1 Organisation générale	8
II.1.2 Spécificités des filières d'abattage porcine et aviaire.....	9
II.1.3 Transformation et devenir des sous-produits animaux.....	10
II.1.4 Contrôle des services vétérinaires	11
II.2 <i>Caractérisation des effluents liquides</i>	11
II.2.1 Composition	11
II.2.2 Caractérisation physico-chimique.....	13
II.2.3 Caractérisation biologique	15
II.2.4 Filières de traitement des effluents.....	17
II.3 <i>Caractérisation de la filière “ boues ”</i>	20
II.3.1 Filières de traitement des boues.....	20
II.3.2 Epandage.....	24
III. RECAPITULATIF.....	28
III.1 <i>Caractéristiques des abattoirs autonomes</i>	28
III.2 <i>Caractéristiques des effluents</i>	29
III.3 <i>Pratiques d'épandage</i>	29
PARTIE 2 : RECUEIL DES DONNÉES POUR L'ÉVALUATION DU RISQUE.....	30
I. IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES DANGERS.....	30
I.1 <i>Sélection des agents pathogènes d'intérêt</i>	30
I.1.1 Arbre décisionnel adopté.....	30
I.1.2 Identification des principales maladies animales et sélection des zoonoses	31
I.1.3 Liste des germes d'intérêt retenus	32
I.2 <i>Caractérisation des dangers</i>	36
I.2.1 Fiches descriptives	36
I.2.2 Concentrations et taux d'abattement des pathogènes lors des étapes de traitement	44
II. EVALUATION DES EXPOSITIONS.....	48
II.1 <i>Concentration en pathogènes dans les sols après épandage</i>	48
II.2 <i>Les populations exposées</i>	50

<i>II.3 Voies de contamination et milieux vecteurs associés.....</i>	<i>50</i>
<i>II.4 Voies d'exposition retenues.....</i>	<i>52</i>

**PARTIE 3 : BILAN SUR L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET PROPOSITIONS DE GESTION
DU RISQUE 53**

I. BILAN SUR L'ÉTUDE.....	53
<i>I.1 Les installations à étudier en priorité</i>	<i>53</i>
<i>I.2 Les besoins identifiés et hiérarchisés.....</i>	<i>55</i>
I.2.1 L'état des lieux des installations	55
I.2.2 L'aspect sanitaire	55
I.2.3 L'aspect environnemental.....	56
II. PROPOSITIONS DE GESTION DU RISQUE.....	57
<i>II.1 Mesures au niveau des élevages.....</i>	<i>57</i>
<i>II.2 Information des populations.....</i>	<i>57</i>
<i>II.3 Mesures sur l'exposition.....</i>	<i>58</i>

CONCLUSION 59

BIBLIOGRAPHIE..... 60

ANNEXES 68

Liste des tableaux

- Tableau n°1 :** Nombre d'abattoirs spécialisés recensés par Agence de l'eau
- Tableau n°2 :** Nombre d'abattoirs spécialisés pour les 4 départements bretons
- Tableau n°3 :** Récapitulatif des normes de rejet à l'émissaire des STEP d'abattoirs
- Tableau n°4 :** Transformation et utilisation des déchets de l'abattage
- Tableau n°5 :** Caractéristiques physico-chimiques des effluents bruts d'abattoirs
- Tableau n°6 :** Estimation des gisements français en boues d'abattoirs
- Tableau n°7 :** Volumes de boues épandues en fonction du type de cultures
- Tableau n°8 :** Intérêts d'épandre des boues en fonction du type de cultures
- Tableau n°9 :** Récapitulatif des conditions réglementaires d'épandage
- Tableau n°10 :** Répartition des agents biologiques pathogènes en fonction de l'espèce animale
- Tableau n°11 :** Récapitulatif des principaux critères de sélection pris en compte
- Tableau n°12 :** Résistance d'*Escherichia coli* dans l'environnement
- Tableau n°13 :** Résistance de *Salmonella spp.* dans l'environnement
- Tableau n°14 :** Etudes internationales (hormis en France) en matière d'analyses bactériologiques des effluents d'abattoirs
- Tableau n°15 :** Récapitulatif des concentrations en agents biologiques d'intérêt
- Tableau n°16 :** Volume des déjections produites en élevage

Liste des acronymes

ACIA :	Agence Canadienne d'Inspection des Aliments
ADEME :	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ADIV :	Association pour le Développement de l'Industrie de la Viande
AELB :	Agence de l'Eau Loire-Bretagne
AESN :	Agence de l'Eau Seine Normandie
AFSSA :	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
BA :	Bassin d'Aération
CCHST :	Centre Canadien d'Hygiène et Sécurité au Travail
CEMAGREF :	CEntre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CNRS :	Centre National de Recherche Scientifique
DBO ₅ :	Demande Biologique en Oxygène à 5 jours
DCO :	Demande Chimique en Oxygène
DDAF :	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DDASS :	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DDE :	Direction Départementale de l'Equipement
DDSV :	Direction Départementale des Services Vétérinaires
DGAL :	Direction Générale de l'Alimentation
DI ₅₀ :	Dose infectieuse 50%
DMI :	Dose minimale Infectante
DPEI :	Direction des Politiques Economiques et Internationale
ERS :	Evaluation du Risque Sanitaire
FIA :	Fédération des Industries Avicoles
FNADE :	Fédération Nationale des Activités du Déchet et de l'Environnement
FNEAP :	Fédération Nationale des Exploitants d'Abattoirs Prestataires de service
FNSA :	Fédération Nationale des Syndicats de l'Assainissement et de la maintenance industrielle
HACCP :	Hazard Analysis Critical Control Points
ICPE :	Installation Classée pour la protection de l'Environnement
IGS :	Ingénieur du Génie Sanitaire
INRA :	Institut National de Recherche Agronomique
INTERBEV :	association nationale INTERprofessionnelle du BEtail et des Viandes
INVS :	INstitut de Veille Sanitaire
ITP :	Institut Technique du Porc
MAAPAR :	Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales
MB :	Matière Brute
MEDD :	Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
MES :	Matières En Suspension
MO :	Matières Organiques
MS :	Matière Sèche
NGL :	Azote Klejdahl
NPP :	Nombre le Plus Probable
NPPUC :	Nombre le Plus Probable d'Unités Cytologiques
NT :	Azote Total
OFIVAL :	Office Interprofessionnel des Viandes de l'élevage et de l'Aviculture
OIE :	Office Internationale des Epizooties
SCEES :	Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques
SEC :	Substances Extractibles au Chloroforme
SNIV :	Syndicat National de l'Industrie des Viandes
STEP :	STation d'EPuration

SYPREA : Syndicat des Professionnels du REcyclage en Agriculture

Glossaire

DI₅₀ : Dose Infectieuse 50 % est la dose pour laquelle 50 % des individus exposés développent la maladie

DMI : Dose Minimale Infectante est la plus petite dose d'agents biologiques pouvant provoquer une infection chez des individus exposés

Fumier : Mélange plus ou moins fermenté de litière et de déjections animales, utilisé comme amendement et comme engrais organique

Hôte : Etre vivant qui héberge un agent biologique pathogène (virus ou parasite)

Hôte définitif : Hôte qui héberge la forme sexuée et/ou adulte du parasite

Hôte intermédiaire : Hôte qui héberge une forme larvaire du parasite

Immunodéprimé : Sujet incapable d'avoir des réactions immunitaires normales

Incidence : Nombre de nouveaux cas de maladie survenue pour une population déterminée et pour une période donnée

Lisier : Mélange, sous forme liquide, des excréments et des urines des animaux domestiques, avec quelques débris de fourrage et peu ou pas de litière

Litière : Lit de paille ou d'autres matières végétales, souple, isolant et absorbant, qu'on étend dans les bâtiments d'élevage pour servir de couche aux animaux

Matières stercoraires : Excréments et contenu du tube digestif

Opportuniste (agent biologique) : Se dit d'un germe qui ne manifeste sa virulence que sur un organisme immunodéprimé

Prévalence : Nombre de cas de maladie ou de malades dans une population donnée, à un instant donné, sans distinction entre les nouveaux cas et les anciens

Relations dose-réponse : Relations permettant de calculer une probabilité d'infection par un micro-organisme donné ; chaque micro-organisme est ainsi caractérisé par une loi statistique qui est déterminée expérimentalement ou à l'aide de données épidémiologiques afin de modéliser la réponse humaine à l'exposition au germe considéré

Sérotype : Différenciation entre des bactéries d'une même espèce en fonction de leurs facteurs antigéniques

Virulence : Propriété génétique des agents pathogènes microbiens ou parasitaires ; Il peut s'agir de structures qui confèrent à ces agents biologiques une résistance élevée au sérum ou à la phagocytose, ou bien qui lui permet d'altérer ou d'inhiber les défenses immunitaires

Zoonose : maladie transmissible de l'animal à l'homme et inversement

Contexte

Depuis plusieurs décennies, la France ainsi que la plupart des pays de l'Union Européenne ont mis en place des stations d'épuration (STEP) des eaux résiduaires urbaines et industrielles dans le cadre de la politique publique de préservation de la qualité des eaux naturelles. Les eaux industrielles sont ainsi collectées puis acheminées vers une STEP urbaine ou industrielle pour être traitées.

Ces stations génèrent des boues d'épuration, sous-produit ultime de l'assainissement (représentant à peine 2 à 3 % du volume des effluents traités, (source CEntre national du Machinisme Agricole, du Génie rural, des Eaux et des Forêts (CEMAGREF)) chargé en polluants chimiques et agents biologiques, et dont la valorisation suscite beaucoup d'attention. Cette valorisation biologique par épandage présente un intérêt agronomique réel à l'opposé des méthodes d'élimination par incinération et enfouissement. Cependant, outre leurs teneurs en éléments-traces métalliques et en composés traces organiques, elles peuvent contenir également une charge microbienne importante et dans une moindre mesure parasitaire. Ainsi, cette valorisation est acceptable sous deux conditions : l'assurance d'un réel bénéfice agronomique de l'épandage d'une part, et une garantie quant à l'innocuité sanitaire et environnementale de la pratique d'autre part, qui sera l'objet de cette étude.

Les eaux issues d'abattoirs ou de toute autre industrie traitant des produits animaux peuvent contenir des organismes spécifiques à leur propre activité, provenant du sang, du tube digestif, de morceaux de tissus et de déjections des animaux abattus. De plus, si la majeure partie de ces organismes sont tout à fait bénins, d'autres agents biologiques en revanche pourront être pathogènes pour l'homme.

Alors que la production de boues ne cesse de croître avec la complexification des filières de traitement des effluents, les traitements conventionnels des boues ne peuvent garantir la totale innocuité de ce déchet. On conçoit donc bien le problème de ces agents biologiques et de la maîtrise des risques qu'ils génèrent, alors qu'actuellement la principale voie de valorisation des boues au niveau français est l'épandage (à hauteur de 60 %, donnée du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales (MAAPAR)). Cette pratique peut être un facteur d'exposition et de risque pour les populations en lien avec cette activité (agriculteurs épandant les boues, enfants jouant à proximité des champs,...). Cette problématique des risques liés aux agents pathogènes est par ailleurs d'actualité au niveau français mais également à l'échelle européenne, (comme en témoigne l'émission du règlement européen sur les sous-produits animaux) et internationale.

Objectifs

Compte tenu de cette préoccupation sanitaire et de la publication d'un **règlement européen n°1774/2002 du 3 octobre 2002** (faisant suite à la crise de la vache folle et au risque potentiel lié à l'ESB) établissant des règles sanitaires vis à vis des sous-produits animaux non destinés à la consommation humaine, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) a demandé à l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) de développer une méthodologie d'évaluation des risques biologiques dans le cadre des études d'impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

Ce mémoire a pour objectif principal de rechercher les données disponibles pour évaluer au niveau français les risques biologiques liés à l'épandage des boues de station d'épuration d'abattoirs autonomes spécialisés dans l'abattage de porcs et de volailles.

Il vient alors compléter le mémoire d'étude de Sandrine Deglin (réf. IGS 2002 [7]) qui a traité des risques biologiques engendrés par l'épandage des boues d'abattoirs de ruminants. De plus, il se focalise sur les abattoirs autonomes, c'est à dire bénéficiant de leur propre STEP pour traiter leurs effluents. En effet, cette priorité permet de tenir compte de la spécificité de la charge biologique d'origine porcine ou aviaire ainsi que de l'importance du gisement de boues d'épuration générées. Il n'abordera donc pas la problématique des abattoirs mixtes (d'animaux de boucherie, qui abattent aussi bien des bovins, caprins, ovins, équidés et suidés) disposant d'une station d'épuration autonome et tout type d'abattoir (spécifique ou pas dans son abattage) qui serait connecté à une STEP urbaine. Enfin selon la directive européenne 71-188 du 15 février 1971, seules les espèces Gallus, dinde, pintade, canard et oie sont considérés comme des volailles.

Ce travail participe à une réflexion visant à étudier la faisabilité de rédiger un guide méthodologique d'évaluation des risques biologiques pour les ICPE soumis à autorisation de ce secteur d'activité agroalimentaire.

Pour répondre à cet objectif, trois grands axes de recherche seront poursuivis :

- ✓ La caractérisation du fonctionnement des abattoirs,
- ✓ Le recueil des données indispensables à l'évaluation du risque,
- ✓ Le bilan sur l'étude de faisabilité d'une évaluation du risque sur ce secteur d'activité et des propositions de gestion du risque.

Dans le cas où des informations indispensables à l'évaluation des risques seraient manquantes, cette étude identifiera les besoins en recherche pour acquérir ces données.

PARTIE 1 : Caractéristiques des abattoirs de porcs et de volailles

Cette partie a pour vocation de dresser un état des lieux, tant sur les plans économiques, juridiques que structurels et fonctionnels, des abattoirs autonomes spécialisés dans l'abattage de porcs et de volailles.

I. Contexte économique et réglementaire

Un bilan économique et réglementaire est tout d'abord indispensable pour bien comprendre l'évolution et les contraintes de fonctionnement de ce type d'industrie agroalimentaire.

I.1 Contexte économique et localisation géographique de la filière viande

La France ne compte pas moins de 605 abattoirs, tous types confondus. Ces établissements font partie des industries de transformation de produits et sous-produits animaux. Ils permettent à la France d'être l'un des leaders sur le marché européen et international sur ce secteur d'activité.

L'ensemble des données économiques est issu du *Panorama des industries agroalimentaires, édition 2002*, [1] diffusé par le Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques (SCEES) de la Direction des Politiques Economiques et Internationale (DPEI) du MAAPAR et concernant les entreprises de plus de 20 salariés et d'un bulletin de l'Office National Interprofessionnel des Viandes, de l'élevage et de l'Aviculture (OFIVAL).

I.1.1 La filière porcine

Le secteur du porc est pour l'essentiel organisé en filières industrielles caractérisées d'une part, par la concentration des élevages et d'autre part, par des structures intégrées de grande taille pour l'abattage et la transformation des viandes (découpe, charcuterie et salaison). On assiste ainsi au rachat progressif des petites et moyennes entreprises par de grands groupes, couvrant alors l'ensemble de la chaîne de production.

Cependant, parallèlement à ce mouvement de restructuration et de concentration, se maintient un réseau d'abattoirs de petite et moyenne capacité, souvent publics, qui répondent à d'autres objectifs :

- ✓ prestations de service pour des petits usagers, des bouchers le plus souvent,
- ✓ localisation à proximité des lieux de production dans les zones à faible densité d'élevage et/ou présentant des difficultés d'accès (montagne),
- ✓ développement de filières courtes, notamment avec vente directe à la ferme, encouragé par la loi d'orientation agricole n°99-574 du 9 juillet 1999 et qui nécessite un service de proximité, l'abattage ne pouvant être réalisé hors abattoir.

On constate finalement un petit nombre d'abattoirs porcins.

L'abattage des porcs est en fait à l'image du cheptel : l'activité se développe et se concentre dans un nombre restreint d'établissements.

La production a atteint 2 millions de tonnes de carcasse en 2000, soit 25% de plus qu'en 1990. Elle est aujourd'hui issue de **246 abattoirs** (spécialisés et mixtes) contre 433 en 1990, concentrés pour les **deux tiers en Bretagne et dans les Pays de la Loire**. La production est **assurée pour**

moitié dans 10 unités et à 80% dans les 30 plus gros qui sont en grande partie des abattoirs spécialisés dans la viande porcine.

La production moyenne des abattoirs français est de 37 000 tonnes par an de carcasses dont la quasi totalité est fournie par **22 établissements de statut privé.**

1.1.2 La filière aviaire

Avec une production de viande de volailles de 2 047 922 tonnes en 2000, la France reste le premier pays producteur de l'Union Européenne [1]. La production française est concentrée pour près des **deux tiers dans les régions Bretagne et Pays de la Loire**. La viande de volailles est la seconde produite en France derrière le porc.

Au sein d'un marché intérieur des produits carnés en quasi stagnation depuis 1990, la viande de volailles est celle dont la consommation a le plus progressé sur l'ensemble de la décennie.

Les abattoirs de volailles sont un outil industriel toujours plus productif.

Tout d'abord, **le nombre des abattoirs n'a cessé de décroître**. Alors qu'en 1992, la France comptait 1 392 établissements d'abattage contrôlés, en 1995 et en 2001 on n'en dénombrait plus que 729 et **186**. Des crises successives ont en fait entraîné une concentration des outils industriels.

Cette concentration de la production (**64 établissements abattent 80 % de la production**) s'est effectuée sans investissement massif. Les abattoirs ont en effet choisi d'augmenter leur nombre d'équipes de travail.

Parmi les **186 abattoirs référencés**, on dénombre 129 établissements d'abattage de plus de 2 000 tonnes. Sur les abattoirs de plus de 40 000 tonnes, 2 sont spécialisés en poulets chairs, 2 en abattage de dindes et 3 sont multi-espèces.

Enfin, cet important mouvement de concentration a conduit à l'apparition de 7 groupes (dont 3 coopératives) qui dépassent 180 millions d'euros de chiffres d'affaires (comme *SA DOUX, LDC, GASTRONOME, le Groupe UNICOPA,...*).

1.1.3 Les abattoirs spécialisés et autonomes

La filière porcine compte 32 abattoirs totalement dédiés dont certains font partie des plus grosses structures d'abattage de porcs en France. Cette information correspond au résultat d'une enquête [2] menée par les grands syndicats professionnels et industries de la corporation (FNEAP, SNIV, FIA, SYPREA, FNADE et FNSEA), et corroborée également par le SCEES. **Cependant aucune étude ne permet d'identifier parmi ceux-ci, les établissements autonomes disposant de leur propre unité de traitement des effluents.**

Il en est de même pour les abattoirs de volailles pour lesquels il est important de préciser que leur filière d'abattage est si spécifique qu'elle autorise exclusivement l'abattage de volailles et en fait donc **des abattoirs spécialisés.**

Vu cette lacune, il a été choisi d'une part de procéder à cet inventaire par la consultation des six agences de l'eau. Cette étude a permis d'identifier **15 (sur 67 spécifiques) et 73 (sur 222 spécifiques) abattoirs autonomes respectivement de porcs et de volailles** sur le territoire Français. Leur répartition par Agence de l'eau est présentée par le **tableau n°1** en page suivante.

On constate que la majorité des abattoirs de porcs et de volailles sont raccordés à des STEP urbaines. Pour évaluer l'importance du risque biologique des boues de ces STEP, il serait primordial de :

- déterminer la part des volumes d’effluents issus des abattoirs par rapport à celui d’origine urbaine pour chaque STEP urbaine,
- caractériser les filières de traitements de ces installations de dépollution, afin d’en apprécier l’efficacité en terme d’abattement d’agents pathogènes.

<u>Agences de l’eau</u>	Abattoirs de porcs		Abattoirs de volailles	
	autonomes	raccordés	autonomes	raccordés
Loire Bretagne	7	8	24	64
Seine Normandie	2	21	10	5
Artois Picardie	0	1	28	47
Rhin Meuse	0	1	0	1
Rhône Méditerranée Corse	nc	nc	nc	nc
Adour Garonne	6	21	11	32
Total	15	52	73	149

Tableau n°1 : Nombre d’abattoirs spécialisés recensés par Agence de l’eau

On remarque également un nombre beaucoup plus faible d’abattoirs de porcs par rapport aux abattoirs de volailles. Ceci s’explique entre autre, par le fait que l’abattage de porcs se fait principalement dans des abattoirs mixtes (d’animaux de boucherie) alors que la chaîne d’abattage des volailles est beaucoup plus spécifique et nécessite des installations totalement dédiées. Enfin, le nombre d’abattoirs spécialisés ne correspond pas exactement avec les données du MAPAAR : cette étude dénombre plus d’établissements alors que cette liste n’est pas exhaustive. En effet, les plus petites structures autonomes échappent à la redevance “ pollution de la ressource ” des Agences.

Compte tenu de la forte concentration de cette activité d’abattage sur la région bretonne et sachant la grande spécificité et diversité des données indispensables à la caractérisation de ces établissements, il a été choisi de contacter les Directions Départementales des Services Vétérinaires (DDSV) des quatre départements bretons, au titre de leur fonction d’inspection des ICPE. Le dénombrement obtenu est le suivant :

Département	Abattoirs autonomes de porcs	Abattoirs autonomes de volailles
Ille et Vilaine	0	1
Côtes d’Armor	6	7
Morbihan	1	5
Finistère	3	3
Total	10	16

Tableau n°2 : Nombre d’abattoirs spécialisés pour les 4 départements bretons

Là encore, on ne peut pas affirmer que l’on dispose d’une liste complète des abattoirs autonomes bretons, les plus petites structures d’abattage (essentiellement les ICPE soumises à déclaration) n’étant pas répertoriées car non suivies par les DDSV. La comparaison avec la liste de l’Agence de l’eau Loire Bretagne est délicate car cette dernière intègre d’autres départements que ceux bretons. De plus, ses critères de sélection des abattoirs sont différents.

I.2 Législation

I.2.1 Textes communs aux abattoirs, équarrissages et centres de transit

I.2.1.1 Législation des ICPE

I.2.1.1.1 La loi n°76-663 du 19 juillet 1976

Cette loi est relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (articles L.511 et L.512 du Code de l'Environnement). On lui associe le décret n°77-1133 du 21 septembre 1977, pris pour son application.

Les installations concernées par cette loi sont définies dans la nomenclature des installations classées établie en Conseil d'Etat.

Les abattoirs, en considérant leur activité principale, en font notamment partie selon les rubriques 2210 classant les abattoirs en fonction de leur volume d'abattage et 2751 définissant des prescriptions de fonctionnement pour les abattoirs disposant de leur propres stations d'épuration. Les abattoirs pouvant également disposer d'atelier de découpe, la rubrique 2221 peut y être intégrée.

De plus, le cas échéant, d'autres rubriques ne relevant pas de l'activité principale, peuvent être prises en compte : comme par exemple la rubrique 1136 relative à l'emploi ou au stockage d'ammoniac. Les principales rubriques ICPE qui peuvent s'appliquer aux unités d'abattage sont récapitulées dans l'Annexe 1.

I.2.1.1.2 L'arrêté ministériel du 2 février 1998 modifié

Cet arrêté, modifié le 17 août 1998, est relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau, et intègre les émissions de toutes natures des ICPE soumises à autorisation.

Ces objectifs sont, d'une part, d'assurer une prévention des pollutions accidentelles par la mise en place de rétentions sous des stockages d'effluents à risques et d'autre part, de préciser des valeurs d'émissions au milieu naturel et des conditions d'épandage.

a. Les contraintes d'émission :

Pour le secteur de l'abattage, des contraintes portent sur les valeurs limites d'émissions au milieu naturel pour les abattoirs de boucherie et les unités de traitement des sous-produits animaux (au sein de ces structures), disposant de leur propre STEP.

	Abattoirs animaux de boucherie (en g par tonne de carcasse)	Traitements des sous-produits (en g/tonne de matière première traitée)	(en
DBO ₅	180	150	
DCO	720	600	
MES	180	100	

Tableau n°3 : Récapitulatif des normes de rejet à l'émissaire des STEP d'abattoirs

D'autre part, pour les animaux de boucherie, le volume d'effluent rejetable ne doit pas excéder **6 m³ par tonne de carcasse**.

a. Les contraintes d'épandage

Ce texte, via sa section IV et l'arrêté du 17 août 1998 (modifiant les articles 36 à 44), fixe les contraintes d'épandage.

A savoir que pour être épandu, un effluent ne doit présenter aucun risque envers l'environnement et doit permettre un apport agronomique à un sol doté d'une capacité d'épuration suffisante.

Ainsi, avant tout épandage, **une étude préalable** est mise en œuvre pour démontrer l'innocuité et l'intérêt agronomique des effluents ou des déchets dans les conditions d'utilisations prévues.

Elle précise également les périmètres et modalités de mise en œuvre de cet épandage ainsi que la nature, la zone, les contraintes liées au milieu environnant, les modalités techniques et les mesures analytiques de la qualité de l'effluent. La prise en compte des caractéristiques physico-chimiques du sol (pH, teneur en éléments traces organiques,...) est un élément incontournable.

De plus, **un plan d'épandage** fondé sur des études agronomiques, pédologiques et hydrogéologiques doit être établi. Ce plan d'épandage permettra d'identifier et de visualiser l'emplacement, la superficie et l'utilisation des terrains disponibles ainsi que la fréquence et le volume prévisionnel des épandages sur chaque parcelle.

Ce dispositif est complété par **un cahier d'épandage**, conservé pendant au moins dix ans, qui doit être tenu à jour pour permettre un bilan annuel. Il relate entre autre les dates, les parcelles et surfaces réceptrices, les conditions météorologiques et l'identité des personnes physiques ou morales qui ont réellement réalisé l'épandage.

Certaines zones sont quant à elles interdites d'épandage et sont localisées avec exactitude (par exemple à moins de 50 mètres des points de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines). **Certaines conditions climatiques, topographiques ou culturelles empêcheront également tout épandage** (par exemple sur sol gelé ou en cas de forte pluviosité).

De même, l'aérodispersion est proscrite quand les effluents ou les boues liquides sont susceptibles de contenir des pathogènes, alors que les déchets solides ou pâteux doivent être enfouis le plus tôt possible dans un délai maximum de 48 heures afin d'éviter toutes odeurs et pertes par volatilisation.

Enfin, c'est l'arrêté d'autorisation qui définit les teneurs maximales en éléments indésirables et en agents pathogènes, les fréquences et la nature des analyses, les documents à fournir et les conditions de l'épandage.

L'ensemble des restrictions d'usages sont rappelées dans la partie II.3.2 Epandage.

I.2.1.2 La loi sur l'eau n°92-3 du 3 janvier 1992

La loi sur l'eau propose un système similaire à celui des installations classées. En effet, elle se base sur le décret n°93-743 du 29 mars 1993, relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration, qui est une nomenclature " eau " définissant les opérations ayant un impact sur le milieu aquatique.

I.2.1.2.1 Pour les établissements étant des ICPE

Certaines installations peuvent relever à la fois de la législation des ICPE et de la nomenclature " eau ". Cependant, pour éviter que l'industriel engage deux procédures, il a été établi que **la législation des ICPE primait sur celle de la loi sur l'eau**. Pour les abattoirs, **le dossier est alors instruit par les DDSV**, en tant qu'inspecteur des installations classées. L'établissement devra donc suivre les règles fixées par l'arrêté préfectoral d'autorisation, tout en respectant les règles édictées par la loi sur l'eau.

I.2.1.2.2 Pour les établissements non ICPE

Ces établissements n'entrent pas dans les priorités de cette étude. Cependant, une installation non classée au titre de la loi des ICPE peut être soumise à autorisation ou déclaration au titre de la loi sur l'eau si elle occasionne un impact sur le milieu aquatique.

Les rubriques qui pourront s'appliquer à ces abattoirs sont présentées en **Annexe 1**. Les prescriptions à suivre seront fixées par un arrêté d'autorisation ou par une déclaration spécifique, délivrés par le service administratif de la police des eaux (DDAF, DDE ou DDASS).

I.2.2 Réglementation spécifique aux abattoirs

I.2.2.1 Le Décret n°97-903 du 1^{er} octobre 1997

Ce décret est relatif à la protection des animaux au moment de leur abattage.

I.2.2.2 La rubrique 2751 de la loi des ICPE du 19 juillet 1976

Cette rubrique relative aux stations d'épuration recevant des déjections et des effluents d'origine animale, définit des prescriptions particulières pour le fonctionnement des STEP autonomes d'abattoirs.

I.2.3 Règlement européen n°1774/2002 du 3 octobre 2002

Ce texte est relatif à l'élimination des sous-produits animaux non destinés à la consommation humaine. Les abattoirs entrent donc dans son champ d'action. Il modifie les notions de déchets à bas risques et haut risques par une nouvelle classification en trois catégories de sous-produits, définis par les articles 4, 5 et 6. Vu cette nouvelle réglementation, **les boues de STEP d'abattoirs autonomes de porcs et de volailles ne sont pas assimilables à des matières de catégorie 2**. Elles pourront donc être **valorisées par épandage**, à l'inverse des refus de dégrillage et des graisses considérés comme des déchets de catégorie 2 qui devront être incinérés, co-incinérés ou transformés dans une usine agréée.

II. Aspects structurels et fonctionnels

Cette partie a pour objectif de décrire l'organisation de l'abattage, la caractérisation des effluents, les filières de traitements appliqués aux eaux résiduaires et aux boues, ainsi que les pratiques d'épandage. Elle dresse un état des lieux du mode de fonctionnement des abattoirs de porcs et de volailles.

II.1 Organisation de la filière d'abattage

II.1.1 Organisation générale

Quel que soit le type d'animal qui est abattu, la filière d'abattage se décompose toujours en une succession d'étapes distinctes :

- ✓ **L'aire de stabulation** : où dès leur arrivée à l'abattoir, les animaux sont pris en charge. Cette zone permet le parage par espèce, le jeûne, la diète hydrique et l'identification de chaque individu avant abattage. Le jeûne permet de limiter les quantités d'excréments produits et la souillure des carcasses par ceux-ci lors de l'abattage. La diète hydrique a quant à elle pour objectif, de limiter les phénomènes de bactériémie digestive ;
- ✓ **Le bloc d'abattage** ;
- ✓ **Les salles de réfrigération** : permettant de réduire le développement microbien sur les carcasses. Les carcasses passent successivement par les chambres de ressuage puis de conservation (température de 0 à 4°C) par refroidissement à eau ou à air ;
- ✓ **Le bloc "cinquième quartier"** : correspondant aux locaux de stockage et/ou de traitement des co-produits et déchets. C'est là que sont réalisés le stockage du sang et le traitement des produits de triperie et boyauderie ;
- ✓ **Les ateliers de découpe** : où l'on procède au découpage des carcasses et à l'emballage des pièces de viande, quand les carcasses ne sont pas directement commercialisées. Ces ateliers sont des éléments annexes, qui peuvent ou non être associés aux abattoirs et ainsi être totalement indépendants ;
- ✓ **Le bloc d'abattage sanitaire** : permettant de traiter les animaux blessés ou accidentés. Il peut également servir à l'abattage d'animaux malades ou suspects relevant d'une élimination de cheptel dans le cadre de la lutte contre certaines maladies (comme la tuberculose par exemple). Cependant, depuis l'automne 2000, les animaux présentant une pathologie ne sont plus abattus mais directement euthanasiés et envoyés à l'équarrissage ;
- ✓ **Le système d'épuration des effluents**.

II.1.2 Spécificités des filières d'abattage porcine et aviaire

Dans les deux cas, le schéma général des différentes opérations pratiquées dans un abattoir satisfait au principe de "marche en avant" et de "non entrecroisement" des opérations, conformément au système qualité HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points).

Les principales différences entre les abattoirs de porcs et de volailles relèvent du bloc d'abattage.

En effet, **pour les porcs**, le hall d'abattage est constitué des opérations :

- ✓ **Anesthésie** (étourdissement électrique de l'animal),
- ✓ **Saignée**,
- ✓ **Déshabillage** qui comprend l'échaudage de l'animal dans une cuve d'eau chaude (température voisine de 60°C) qui facilite l'épilage c'est à dire le retrait des soies,
- ✓ **Eviscération** (retrait des viscères et vidage des boyaux),
- ✓ **Fente** (découpe de la carcasse en deux, suivant la colonne vertébrale)
- ✓ **Douchage de la carcasse** (rinçage à l'eau du réseau d'adduction).

Pour les volailles, l'abattage comprend les étapes suivantes :

- ✓ **Anesthésie et saignée** : l'étourdissement est une pratique obligatoire dont l'objectif est d'étourdir l'animal sans affecter la quantité de sang libéré ultérieurement. Le dispositif est un bac d'eau muni d'une électrode et d'un convoyeur. La saignée libère entre 35 à 50% du sang présent dans le corps de l'animal [2].

- ✓ **Echaudage** : cette étape facilite le plumage. Elle est réalisée traditionnellement par trempage de la volaille dans un bac d'eau chaude (température de 50 à 60°C).
- ✓ **Plumage** : l'opération d'enlèvement des plumes est automatique et assurée par le passage dans une plumeuse,
- ✓ **Eviscération** : cette opération est en grande partie automatisée et requiert des quantités d'eaux importantes, notamment pour le lavage externe et interne des carcasses.

II.1.3 Transformation et devenir des sous-produits animaux (à l'exclusion des effluents liquides)

L'abattage de porcs et de volailles génèrent un ensemble de sous-produits dont le devenir est récapitulé dans le tableau suivant :

Nature	Lieu de transformation	Sous produits	Produits valorisés
Déchets en mélange	Usine de transformation agréée (1)(2)	Graisse, saindoux, farine et creton	Aliments pour animaux de compagnie (3)
Tissus adipeux	Usine de transformation agréée (1)	Farine et creton autoclavés à 133°C, 3 bars, 20min (5) saindoux	Engrais (3) Aliments pour animaux d'élevage (3)
Soies et sang	Usine de transformation agréée (1)	–	Engrais (3)
Os	Usine de transformation agréée (1)	Phosphate bicalcique (6)	Aliments pour animaux non ruminants (3)
Plumes	Usine de transformation agréée (1) Incinération	Autoclavage à 133°C, 3 bars, 20min (5)	Engrais (3)
Matières stercoraires	Epandage (majoritaire) Décharge Incinération	–	–
Couennes et os dégraissés (8)	–	–	Gélatine alimentaire (4), technique ou pharmaceutique (3)

Tableau n°4 : Transformation et utilisation des déchets de l'abattage (Source : FNEAP, 2003)

- (1) Ces usines de transformation sont agréées conformément à l'arrêté ministériel du 30 décembre 1991, qui fixe également des critères microbiologiques que doivent respecter les produits après transformation ;
- (2) Les sites livrant des matières destinées à la fabrication d'aliments pour animaux de compagnie doivent être enregistrés comme "centres de collecte de matières premières" conformément à l'arrêté ministériel du 2 mai 1994 ;
- (3) Les produits excédentaires n'ayant pas de débouchés commerciaux sont destinés à l'incinération, au stockage ou à l'utilisation comme combustible ;
- (4) Les usines et dépôts manipulant des matières destinées à la production de gélatine alimentaire doivent être enregistrés comme "centres de collecte de matières premières" conformément à l'arrêté du 15 avril 2001 ;
- (5) L'autoclavage est défini par la décision 1999/534/CE du 19 juillet 1999 qui annule et remplace la décision 96/449/CE du 18 juillet 1996 ;
- (6) Le phosphate bicalcique destiné à la fabrication d'aliments pour non ruminants et les produits destinés à la fabrication de la gélatine alimentaire doivent être exclusivement issus d'animaux déclarés propres à la consommation humaines.

Le devenir des déchets générés par le traitement des effluents sera présenté dans une partie ultérieure.

II.1.4 Contrôle des services vétérinaires

Les DDSV procèdent à des contrôles **tout au long de la filière viande**, c'est à dire de **l'élevage à l'abattage**.

Elles assurent au niveau des abattoirs :

- ✓ leur agrément,
- ✓ l'inspection sanitaire,
- ✓ le contrôle microbiologique ou chimique de certains produits,
- ✓ le contrôle des rejets et déchets.

Le contrôle sanitaire des abattoirs s'appuie sur **l'analyse ante et post mortem des animaux**. Ainsi, une fois en stabulation, les **agents du service d'inspection vétérinaire des abattoirs** contrôlent les animaux pour détecter toute pathologie ou blessure : c'est le **contrôle ante mortem**. Si une maladie est détectée, l'animal incriminé est euthanasié et directement envoyé à l'équarrissage. Dans le cas d'une blessure, l'animal est envoyé au bloc d'abattage sanitaire.

Lors du **contrôle post mortem**, ces mêmes agents relèvent toute anomalie des carcasses sur la **chaîne d'abattage**. Si une anomalie est détectée, la carcasse incriminée est en partie ou en totalité dirigée vers l'équarrissage.

Pour la filière du porc, les maladies les plus suivies sont la maladie d'Augesky (liée à *Herpes virus - I- porcin*) et la peste porcine (causée par *Pestivirus*) alors que pour les volailles, on s'oriente plus vers l'influenza (liée à *Orthomyxoviridae influenza*) et la tuberculose aviaire (causée par *Mycobacterium avium*).

Il est important de préciser qu'une intervention des **vétérinaires sanitaires** précède ce contrôle à l'abattoir, par un suivi sanitaire au niveau des élevages.

II.2 Caractérisation des effluents liquides

Cette partie a été établie à l'aide des données recueillies au sein des DDSV interrogées (Ille et Vilaine, Morbihan, Côtes d'Armor et Finistère) et grâce à des travaux menés par l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse [3],[4] et par l'Agence de l'Eau Seine Normandie [5].

II.2.1 Composition

Les effluents d'abattoirs sont constitués par les **eaux pluviales**, les **eaux domestiques** et les **eaux techniques**. Les abattoirs disposent en général d'un réseau séparatif interne permettant de collecter d'une part, les eaux de pluies issues du ruissellement des surfaces imperméabilisées ainsi que les eaux des systèmes frigorifiques et d'autre part, les eaux domestiques (issues des sanitaires principalement) et techniques (issues de l'activité même de l'abattoir).

Pour les abattoirs autonomes, les eaux de pluies et frigorifiques sont soit envoyées vers le réseau communale des eaux pluviales soit rejetées dans le milieu récepteur alors que les eaux domestiques et techniques sont acheminées vers le système d'épuration des effluents.

Ce travail se focalisera exclusivement sur les eaux techniques générées par les abattoirs.

Ces eaux sont constituées d'un mélange au sein duquel les **eaux de lavages sont prépondérantes.**

On distinguera :

- ✓ L'eau de lavage des véhicules desquels ont été déchargés les animaux à abattre ;
- ✓ L'eau de lavage des box de stabulation (après raclage des matières grossières : paille, excréments solides, plumes, ...) ; Lors de la stabulation, les animaux subissent une diète hydrique pendant laquelle ils vont émettre une quantité non négligeable d'urine et de déjections ;
- ✓ L'eau de lavage des cuves de récupération du sang,
- ✓ L'eau de renouvellement des bacs d'échaudage,
- ✓ L'eau de lavage des carcasses, des viscères, des tripes ou des boyaux après un dégraissage éventuel ;
- ✓ L'eau de lavage du hall d'abattage et du matériel (une fois par jour, après l'abattage, l'abattoir est lavé à l'aide de détergents à base d'ammonium quaternaire principalement).

Remarque : L'effet de cette désinfection est ponctuelle et opérant sur les surfaces lavées. Cependant, les modifications de pH et l'effet germicide sur l'effluent sont négligeables compte tenu de l'effet important de dilution (gros volume d'effluents générés) [4].

L'**Annexe n°2** résume schématiquement les principales sources d'effluents d'abattoir.

Les principales sources de contamination de l'effluent brut sont :

- une partie, voir parfois la totalité, du **lisier et des fientes** (récupérés en stabulation et lors du lavage des camions),
- le **sang** issu du poste de saignée (provenant du débordement des bacs et/ou de son entraînement lors du lavage des bacs de récupération et des sols du hall d'abattage),
- les **déchets végétaux**,
- les **contenus digestifs**,
- les **excréments** ainsi que les **déchets animaux** tombés au sol (soies, plumes,...).

La charge polluante de l'effluent est fonction :

- ✓ du **type d'animaux abattus** : à savoir par exemple, que les **effluents de porcs** seront caractérisés notamment par la **présence de soies et de graisses**,
- ✓ du **tonnage abattu**,
- ✓ de **l'organisation de la stabulation**,
- ✓ de la **collecte du sang** au poste de la saignée,
- ✓ de **l'activité de triperie et boyauderie**.

II.2.2 Caractérisation physico-chimique

II.2.2.1 Caractéristiques générales

Tous les effluents issus de l'activité de traitement de produits d'origine animale présentent une **charge importante en azote** (estimée par l'azote Klejdahl : NGL ou l'azote totale : NT) et **en graisses** (estimées par la mesure des Substances Extractibles au Chloroforme : SEC) (données CEMAGREF). D'autre part, ils sont caractérisés par une **charge organique** et une **biodegradabilité importantes**, une **quantité élevée de matières en suspension**, de **fortes fluctuations de la charge polluante** (du fait de la concentration dans le temps de l'activité d'abattage et des moments de lavage des locaux).

Malgré ces grandes fluctuations de charge, de grandes tendances peuvent être dégagées grâce en particulier à :

- ✓ des études menées par le CEMAGREF sur la période 1982-1985 (avec notamment les travaux de SOUCHON) concernant les caractéristiques physico-chimiques des effluents bruts d'abattoirs,
- ✓ des valeurs mesurées et extrapolées [6] par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne dans le cadre du suivi des redevances pollution pour les industries agro-alimentaires.

Les caractéristiques physico-chimiques des effluents bruts sont les suivantes :

Paramètres	Données CEMAGREF en g/kg de carcasse		Données AELB en g/kg de carcasse
	Abattoirs porcins	Abattoirs aviaires	Abattoirs polyvalents
DCO	27.3 ± 9	21.6 ± 6	23
DBO ₅	13.2 ± 4.3	9.3 ± 2.5	9
MES	9.3 ± 3.4	4.5 ± 1	23
N total	1.6 ± 0.5	-	7.1
SEC	-	-	2.5

Tableau n°5 : Caractéristiques physico-chimiques des effluents bruts d'abattoirs

II.2.2.2 Caractéristiques spécifiques

a. Des effluents d'abattoirs de porcs

Cet abattage génère du sang dont la quantité de sang récupérable au poste de saignée (pour valorisation ou traitement hors site) représente en moyenne 7 % du poids de la carcasse considérée. Ainsi, la quantité de sang de porc extractible est de 5 litres par tête. Sa charge organique est de 175 g de DBO₅ et de 25 g d'azote par litre de sang. De plus, le vidage et le traitement des viscères de porc génèrent également une forte charge organique (données CEMAGREF) due au mucus (20g/L de DCO) et aux graisses (2,5 g de DCO/g de graisse).

b. Des effluents d'abattoirs de volailles

Les particularités identifiables sont liées à l'absence de déshabillage des carcasses (pratiqué pour les animaux de boucherie) et remplacé par le plumage. Ainsi, l'abattage de volailles émet une charge organique beaucoup moins importante mais elle s'accompagne souvent pour les petites unités d'une surconsommation en eau. En effet, pour des raisons ergonomiques et sanitaires, le mouillage des

plumes permet d'éviter leur dispersion et le transport hydraulique est une manière simple de les véhiculer. Cependant, les grosses unités utilisent un transport à sec de type pneumatique, qui permet de limiter la consommation en eau ainsi que la charge organique de l'effluent.

c. Volume d'effluent produit

D'un point de vue réglementaire, la consommation en eau d'un abattoir ne doit pas excéder **6 litres d'eau par kilogramme de carcasse traitée** (Arrêté du 1^{er} février 1998). A l'heure actuelle, le volume moyen est **de 4 à 5 litres par kilogramme de carcasse traitée pour les abattoirs de porcs** et plutôt **de 5 litres pour les volailles** (données Agence de l'eau Seine Normandie). Cependant pour les abattoirs de volailles disposant d'un transport à sec des plumes et des viscères, ce volume peut passer à 3 litres par kilogramme de carcasse.

II.2.2.3 Analyse des paramètres physico-chimiques

On peut tout d'abord remarquer que bien que plus pauvres (notamment à cause de la dilution) que leur habitat d'origine (le tube digestif principalement), les effluents d'abattoirs de porcs et de volailles présentent **des teneurs non négligeables en nutriments azotés et carbonés biodégradables**, pouvant servir de substrats pour le maintien voir le développement des populations microbiennes [3], [4]. Cependant, il est indispensable de savoir si les facteurs physiques et chimiques notamment le pH, la température, la teneur en oxygène dissous, la teneur en matières en suspension (MES) et la salinité sont également en adéquation avec cette survie.

a. Le pH

Les effluents bruts d'abattoirs de non ruminant ont des valeurs de **pH proches de la neutralité, se situant entre 6,9 et 8,2 en moyenne**. Ces valeurs s'expliquent par la neutralité des différents fluides qui le constituent (que se soit l'eau du réseau d'adduction communale, le contenu digestif (pH entre 6 et 8 sauf en parties distale de l'estomac et proximale de l'intestin grêle des animaux de boucherie), les urines (même si légèrement basiques) et le sang (pH voisin de 6,8).

Seule l'utilisation de produits acides ou basiques lors des activités journalières de désinfection et de nettoyage peut faire varier fortement mais ponctuellement le pH.

Sachant que la plupart des bactéries sont neutrophiles avec des limites de survie assez larges (C.Richard, 1996 ; C.Haslay, H.Leclerc, 1993), **le pH des effluents d'abattoirs semble permettre au minimum la survie des micro-organismes en général**.

b. La température

La majorité du monde bactérien est représenté par des bactéries mésophiles. La température de l'effluent dépend de la température de l'eau utilisée durant l'abattage et de la température ambiante dans le hall d'abattage. L'eau des bacs d'échaudage lors de leur vidange peut conduire à une augmentation ponctuelle de la température globale de l'effluent.

Il en résulte **une température moyenne comprise entre 15 et 25°C** avec des pointes ponctuelles de 50°C. On peut donc, là encore, affirmer que **la température est compatible avec la survie des micro-organismes**.

c. La teneur en oxygène dissous

Aucune mesure de ce paramètre dans les effluents bruts d'abattoirs n'a été trouvée dans la littérature. Cependant, on peut supposer que ce milieu a **une teneur en oxygène dissous autorisant la survie de toute les bactéries**, à l'exception des anaérobies strictes [4].

d. La teneur en matières organiques et MES

Une forte teneur en **matières organiques** est souvent synonyme de mauvaise qualité microbiologique. En effet, ces matières organiques sont alors utilisables **comme nutriments ou support de fixation**. Or, l'une des propriétés des effluents d'abattoirs est de disposer d'une forte charge organique et en MES. Par conséquent, **ces deux paramètres sont fondamentaux pour justifier de la possibilité de survie de bactéries dans l'effluent** (voir même lors de son traitement).

e. La salinité

Une augmentation de la salinité ne peut être envisagée que pour une activité de salage des cuirs ou de salaison sur le site. Cependant, compte tenu du fort pouvoir de dilution de ces effluents bruts (gros volumes générés), l'impact de ces opérations sur la salinité globale est quantitativement négligeable.

II.2.3 Caractérisation biologique

Cette partie a pour objectif de décrire les sources principales d'agents biologiques [4] qui pourraient être présents dans les effluents d'abattoirs. Pour cette étude micro-biologique, on s'intéressera aux flores digestives, cutanées et environnementales.

II.2.3.1 La flore commensale

II.2.3.1.1 La flore digestive

Elle représente **la source quantitativement et qualitativement la plus importante d'agents biologiques banals ou pathogènes, quelle que soit l'espèce animale considérée**.

Le tractus digestif des animaux de rente renferme une quantité colossal d'agents biologiques dont **la très grande majorité est non pathogène et bactérienne**. Ils sont sélectionnés sur la base de leur aptitude à se multiplier en accord avec les conditions locales (acidité de l'estomac (pour les porcs), anaérobiose, compétition avec d'autres souches, ...). La majorité de ces micro-organismes entretiennent normalement avec l'hôte une relation symbiotique en assurant une partie de la digestion [4]. On se focalisera sur la flore bactérienne digestive, compte tenue de sa grande représentativité (la flore parasitaire étant peu spécifique à ces animaux et moins importante quantitativement).

a. La flore porcine

La microflore bactérienne porcine est très nettement dominée par le genre *Lactobacillus*. Leur nombre est souvent du même ordre de grandeur dans l'estomac que dans les fèces alors qu'ils sont moins nombreux dans l'intestin grêle. La seconde flore dominante est constituée par les streptocoques (*notamment S. bovis et S. faecium*), présents essentiellement au niveau du caecum et des fèces. Enfin, à peu près au même niveau viennent les coliformes avec surtout *Escherichia coli* mais également *Citrobacter sp*, *Klebsiella sp*, *Cloac sp*, *Proteus sp*, *Pasteurella pseudotuberculosis et Actinobacillus sp* dans de moindres proportions.

Pour les porcelets, la flore majoritaire est constituée des lactobacilles. Ils acquièrent une flore similaire aux adultes dès l'âge de 3-4 semaines.

Une étude plus détaillée est fournie en **Annexe 3**.

b. La flore aviaire

La flore intestinale des volailles comprend un petit nombre de genres fréquemment mis en évidence [9]. Sa composition est cependant complexe et fonction de l'âge de l'animal. Pour le genre *Enterococcus spp.*, *Enterococcus faecium*, *Enterococcus cecorum*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus hirae* et *Enterococcus durans* sont régulièrement isolées quelque soit l'âge. *Enterococcus mundtii*, *Enterococcus casseliflavus*, *Enterococcus gallinarum* et *avium* sont quant à elles rarement trouvées. Enfin, *Streptococcus alactolyticus* est le seul streptocoque souvent présent dans les intestins des volailles.

II.2.3.1.2 La flore cutanée

Là encore, la flore symbiotique présente à la surface de la peau des porcs et des volailles étant essentiellement d'origine bactérienne, on se concentre sur celle-ci.

a. La flore porcine

Cette flore normale est constituée des bactéries suivantes : *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus hyicus*, *Staphylococcus sp.*, *Streptococcus bovis* et *Streptococcus faecalis*. On peut noter parmi ces espèces la présence de bactéries pathogènes pour l'homme comme les staphylocoques coagulase positif par exemple.

b. La flore aviaire

La flore cutanée accumulée au cours de l'élevage est constituée essentiellement des bactéries appartenant aux genres *Acinetobacter spp.*, *Moxarella spp.*, *Flavobacterium spp.*, *Aeromonas spp.*, *Micrococcus spp.*, *Corynebacterium spp.* et des entérobactéries [9]. Les bactéries du genre *Pseudomonas spp.* sont quant à elles peu représentées.

Les bactéries de ces deux espèces animales ne sont pas présentes uniformément sur la surface de la peau et sont souvent sous forme de microcolonies. Les nombreux facteurs de variation des conditions physico-chimiques cutanées (pH, salinité, ...) font des études réalisées sur cette flore, des études purement qualitatives. De plus, la peau peut être fréquemment souillée par des agents biologiques fécaux ou de l'environnement.

II.2.3.1.3 La flore environnementale

L'eau ne peut être incriminée comme une source importante d'agents biologiques [4]. En effet, l'eau utilisée au sein des abattoirs est principalement issue du réseau d'eau potable.

Pour le sol, un descriptif des agents biologiques rencontrés serait long, fastidieux et peu intéressant sachant que de nombreux facteurs environnementaux pourraient modifier sa microbiologie.

Les agents biologiques telluriques peuvent se retrouver sur la peau ou dans le tube digestif des animaux et contaminer les effluents de la même manière que les flores digestives et cutanées.

Enfin, l'air et les poussières sont des vecteurs très importants d'agents biologiques, surtout pour les bactéries sporulées et les micrococci. Une absence d'agents biologiques pathogènes est le plus souvent observée et l'impact de cette flore sur la composition microbiologique des effluents reste inconnu.

II.2.3.2 La flore pathogène

Outre les agents biologiques de la flore commensale, des organismes pathogènes de l'animal et transmissibles à l'homme peuvent se retrouver dans les effluents bruts d'abattoir. Ils feront l'objet d'une étude complète dans la partie " identification des dangers ". De plus, il est important de préciser l'existence d'un portage sain des animaux, c'est à dire des animaux qui éliminent et disséminent autour d'eux des agents biologiques pathogènes mais sans présenter aucun signe clinique de maladie. C'est essentiellement ce portage asymptomatique qui est intéressant pour cette étude car la réglementation en vigueur en France interdit l'abattage d'animaux malades dans les abattoirs.

Les **flores cutanées et environnementales semblent avoir une incidence moindre** sur la composition des effluents **par rapport à la flore digestive**. En effet, les procédés industriels d'élevage des porcs et des volailles isolent ces animaux du milieu extérieur et ils ont ainsi tendance à diminuer la diversité et l'importance de ces deux flores. D'autre part, la flore digestive est qualitativement et quantitativement nettement supérieure [4].

Ainsi, cette étude tiendra prioritairement compte des **agents biologiques d'origine digestive**.

II.2.4 Filières de traitement des effluents

Compte tenu de l'absence d'études disponibles au niveau français et de l'objectif de faire un état des lieux du mode de fonctionnement de la filière d'épuration des effluents de ces établissements, l'ensemble des données qui sont exposées, sont issues d'une enquête menée au près :

- des six Agences de l'eau,
- des quatre DDSV bretonnes,
- de la Direction Générale Alimentation (DGAL) du MAAPAR,
- de Chambres d'Agriculture,
- de l'ADEME,
- du CEMAGREF
- et des syndicats professionnels de l'élevage, de la filière viande et de l'épandage (FNEAP, SNIV, FIA, ITAVI, ITP, SYPREA, OFIVAL et INTERBEV).

NB : Les principaux contacts qui ont été établis sont résumés en **Annexe 4**.

De plus, une visite conjointe avec l'Agence de l'eau Seine Normandie de l'abattoir SYNAVI et de sa STEP autonome (appartenant au groupe GASTRONOME, situé à CAUREL dans la Marne et spécialisé dans l'abattage de volailles) a permis de corroborer les données techniques présentées, de valider les informations précédemment exposées sur la filière d'abattage, la source et la composition des effluents et les contraintes réglementaires, ainsi que de visualiser le fonctionnement de l'établissement.

II.2.4.1 Résultats des investigations

Il est important, tout d'abord, de souligner que des mesures de piégeage à la source sont souvent mises en œuvre et consistent en :

- ✓ Une récupération la plus complète possible du sang, des lisiers et des fientes,
- ✓ Un raclage à sec avant nettoyage et désinfection des stabulations,
- ✓ Une mise en place de grilles au niveau des avaloirs des eaux de ruissellement.

II.2.4.1.1 Les opérations de prétraitement

La totalité des établissements (porcs et volailles) est équipée d'un dispositif de prétraitement qui se décompose de la façon suivante :

a. Le dégrillage

Il correspond au premier niveau de traitement et a pour fonction de protéger les ouvrages en aval contre l'arrivée d'éléments figurés (sabots, paille, morceaux d'animaux,...) qui pourraient provoquer des bouchages ou des détériorations. Son efficacité est tributaire de l'écartement entre les barreaux de la grille mais en tenant compte des caractéristiques moyennes des effluents bruts d'abattoirs, l'entrefer moyen est de 20 mm. Les dispositifs utilisés sont de tous les types : à grille droite ou courbe et avec un nettoyage alternatif ou continu. A la suite de cette étape, quand l'écoulement de l'eau ne peut se faire gravitairement, les eaux sont relevées par une vis d'Archimède ou par un système de pompage pour être envoyées sur le second poste de traitement.

b. Le tamisage

Son objectif est également de piéger les MES mais de taille beaucoup plus fine qu'auparavant à l'aide de tamis présentant des tailles de mailles comprises entre 500 et 750 microns. On dispose souvent de tamis rotatifs raclés en permanence dont les refus sont stockés dans une benne alors que l'effluent tamisé est acheminé vers l'étape de dégraissage. Compte tenu de la propriété d'absorption des agents biologiques sur les MES, on peut déjà supposer un abattement de ceux-ci.

c. Le dégraissage et le dessablage

Le principe de ce dispositif est de faire une séparation de phases en fonction de la densité. Cette séparation se fait par flottation naturelle ou assistée par injection d'air. Les graisses s'accumulent en surface de l'ouvrage et sont éliminées par des racleurs, alors que le sable qui s'accumule en fond est soutiré via une vanne.

II.2.4.1.2 L'étape de traitement

Les eaux prétraitées sont envoyées vers un bassin tampon, dans lequel les eaux sont stockées et homogénéisées (en pH, en température et en composition) avant leur passage sur l'étage de traitement. En effet, l'activité d'abattage se concentre sur une partie de la journée (le matin principalement), générant alors des variations importantes de débits et de flux de pollution qu'il faut réguler. Ainsi, en fonction de la taille et du volume d'abattage, certains établissements vont jusqu'à

stocker la grande majeure partie de leurs effluents avant traitement. Cette étape intermédiaire dans le traitement peut servir alors de décanteur pour les MES, sauf dans le cas des bassins aérés ou brassés.

a. Le traitement biologique

Compte tenu de la **nature organique et de la grande biodégradabilité de cet effluent**, la quasi-totalité des établissements dispose d'une **filière biologique**. Cette voie d'épuration consiste à utiliser des micro-organismes aérobies spécifiques, naturellement présents dans l'effluent. Plus précisément, le système le plus utilisé est le **traitement par boues activées** (c'est à dire à culture bactérienne libre) **en aération prolongée**.

Une station de boues activées comprend obligatoirement deux unités :

- ✓ un bassin d'aération (BA) avec des dispositifs de brassage et de fourniture d'oxygène,
- ✓ un clarificateur assurant la décantation des floccs bactériens, permettant une recirculation des boues (maintenant une biomasse constante dans le BA) et une extraction des boues en excès (boues dirigées vers la filière de traitement des boues).

b. Alternatives plus minoritaires

Si la majeure partie des STEP dispose d'un traitement biologique par boues activées, une petite partie des abattoirs ont recours à des **lits bactériens** (pour la filière porcine et aviaire) et au **lagunage aéré** (pour la filière aviaire principalement). Ces choix alternatifs sont souvent suscités par le problème des épandages hivernaux notamment en Finistère, où de grandes capacités de stockage des boues sont trop contraignantes pour les petites unités.

D'autre part, certains établissements disposent d'un **traitement physico-chimique**. Celui-ci est soit intégré au niveau de l'étape de dégraissage, soit il remplace l'étape de traitement biologique. Le traitement physico-chimique des effluents prétraités est peu fréquent puisqu'il pose le problème du stockage et du devenir des boues physico-chimiques du fait de leur grande fermentescibilité. Enfin, quelques installations, notamment sur le bassin Loire Bretagne dont les départements du Finistère et du Morbihan, disposent d'un traitement physico-chimique intégré à la filière de prétraitement. Cela correspond alors à un traitement poussé de l'effluent visant à abattre davantage de MES et de matières colloïdales. Pour cela, deux étapes sont mises en œuvre : une coagulation/floculation et une flottation à l'air dissous des floccs formés. La coagulation/floculation est assurée par l'ajout de chlorure ferrique et d'un polymère, en se plaçant à la neutralité de l'effluent.

Enfin, pour les plus petites unités, **des cas d'épandage direct des effluents prétraités ont été rapportés**.

II.2.4.2 Devenir des sous-produits de traitement

Ces sous-produits sont essentiellement les refus de dégrillage et de tamisage, ainsi que les graisses et matières issues des curages du réseau des eaux résiduaires interne à l'abattoir.

Leur devenir est fixé par le règlement européen applicable depuis mai 2003, où ils sont assimilés à des déchets de catégories 2.

Cependant, comme le révèlent les résultats :

- ✓ d'une enquête menée sur 10 abattoirs par la FNEAP et l'ADEME en 1997,
- ✓ d'une étude menée par l'ADIV et l'OFIVAL en 2000 exploitant 24 réponses d'abattoirs,
- ✓ et des entretiens avec les DDSV de Bretagne,

ces sous-produits sont souvent

- ✓ pour **les graisses de flottation ou de curage**, incorporées avec les boues d'épuration (cas relevé des graisses), soit envoyées sur une STEP urbaine ou à l'équarrissage,
- ✓ pour **les refus de dégrillage**, mis en décharge, soit envoyés à l'équarrissage, soit compostés, soit (directement ou après mélange avec d'autres déchets) épandus,
- ✓ pour **les boues physico-chimiques** des installations disposant d'un prétraitement physico-chimique, incorporées aux boues biologiques avant un éventuel traitement, soit épandues en l'état, soit envoyées en décharge ou en incinération.

Le cas des **boues biologiques** sera abordé dans la partie suivante.

Il est à noter que **les matières récupérées par le raclage à sec des stabulations (les fumiers, la paille et les déjections) ainsi que le contenu des fosses à lisiers partent très majoritairement en épandage** et minoritairement en équarrissage.

II.3 Caractérisation de la filière “ boues ”

Les données fournies dans ce sous-chapitre sont issues de la même démarche de collecte d'informations que celle qui a été précédemment exposée pour le traitement des effluents.

Un schéma récapitulatif de l'organisation de la filière des boues est fournie en **Annexe 5**.

II.3.1 Filières de traitement des boues

II.3.1.1 Filières types : résultat des investigations

Il est important de rappeler que **le traitement des boues** (jouant en outre sur leur siccité finale, leur fermentescibilité et leur texture) **est fonction du devenir de celles-ci**.

Quatre possibilités sont envisageables :

- l'épandage agricole,
- l'incinération,
- la mise en décharge,
- le co-compostage.

Quelque soit le type de boues, les boues d'abattoirs sont très majoritairement (*seulement deux cas d'incinération et un cas de mise en décharge identifiés en Bretagne*) destinées à l'épandage.

Que se soit pour les abattoirs de porcs ou de volailles, **on constate une même grande disparité en terme de filières de traitement des boues d'épuration : allant de l'épandage direct d'effluents prétraités à la digestion anaérobie et au séchage thermique des boues.**

Là encore, la taille des établissements (en terme de capacité d'abattage) est un facteur déterminant. En effet, **les abattoirs de petite capacité**, souvent de statut public, disposent de **filières de traitement souvent réduites (silo de stockage et épaisseur statique) voir même d'aucun dispositif**. Ceci s'accompagne alors **d'épandages d'effluents prétraités** (relevés pour des abattoirs de volailles en Finistère) ou de **boues liquides non stabilisées** (pour les deux types d'abattoirs).

A l'opposé, la restructuration et la concentration qui s'opèrent sur ce secteur d'activités et notamment en Bretagne, a permis l'essor de grosses structures disposant de STEP autonomes perfectionnées. Ainsi, deux abattoirs porcins du Finistère et des Côtes d'Armor vont jusqu'à la digestion anaérobie suivi d'un séchage thermique de leurs boues. On assiste alors à l'épandage de boues séchées (pulvérulentes ou en granulées) ou à leur incinération. Cependant, il semble que pour **les abattoirs de moyenne et grande capacité**, souvent de statut privé, la **filère type privilégie l'épandage de boues pâteuses (issues d'un filtre à bande ou d'une centrifugeuse) avec ou non une stabilisation chimique (par chaulage des boues)**. Ainsi, par exemple dans le Morbihan, le contexte structural des sols (terre souvent acide) privilégie le chaulage des boues pour augmenter leur attrait agronomique. Inversement, sur le bassin Seine Normandie, le parc d'abattoirs procède peu au chaulage.

L'hygiénisation des boues ne peut être considérée que pour les boues correctement chaulées ou séchées.

On voit donc toute la difficulté de mettre en évidence une filière type de traitement des boues, même si deux tendances semblent se dégager :

- ✓ **une production de boues liquides pour les petites structures,**
- ✓ **une production de boues soit pâteuses (chaulées ou non) soit séchées pour les plus grosses unités.**

II.3.1.2 Description des procédés

Au sein de ces STEP d'abattoirs, on peut distinguer jusqu'à trois grandes catégories de boues :

- Les boues de traitement primaire : qui correspondent **principalement aux boues décantées au niveau du bassin tampon.**
- Les boues de traitement physico-chimique : qui sont obtenues après traitement physico-chimique de l'effluent par des réactifs (coagulants et floculants). Ces boues physico-chimiques issues de l'aéroflottation affichent des concentrations généralement comprises entre 50 et 90 g/L. Ces boues sont **majoritairement mélangées aux boues biologiques ou utilisées en l'état.**
- Les boues de traitement biologique : qui sont issues **du soutirage d'une partie des boues du clarificateur.**

Ces différents types de boues sont hautement fermentescibles et se présentent sous forme liquide (de siccité voisine de 1 %). Elles peuvent donc subir des traitements complémentaires en vue de leur élimination, de leur valorisation ou de leur stockage en centre d'enfouissement.

Les objectifs principaux de ces traitements sont de **réduire la teneur en eau des boues**, de **les stabiliser** pour réduire leur pouvoir fermentescible et voire de **les hygiéniser** afin de limiter la présence de micro-organismes pathogènes.

Dans le cadre des abattoirs, seuls des traitements visant à la réduction de la teneur en eau et à la stabilisation ont été rencontrés et seront présentés. En effet, les traitements d'hygiénisation résultent souvent d'une conduite particulière des traitements de stabilisation, les boues correctement chaulées, séchées thermiquement ou compostées pouvant être considérées comme des boues hygiénisées.

Cependant, on peut rappeler pour mémoire, que l'hygiénisation des boues d'épuration est définie par la circulaire DPPR/SEI du 17 décembre 1998 relative aux ICPE. Cette circulaire stipule qu'une boue est dite hygiénisée si elle satisfait aux exigences suivantes : des teneurs en Salmonelles < à 8

NPP/10 g de Matière Sèche (MS), en Entérovirus < à 3 NPPUC/10 g de MS et en œufs d'helminthes pathogènes viables < à 3/10g de MS.

II.3.1.2.1 Pour les abattoirs de porcs et de volailles de moyenne ou grande taille

Seules les filières les plus courantes seront détaillées, à savoir celles conduisant à une production de boues pâteuses avec ou non chaulage ou de boues séchées.

Le schéma classique de réduction de la teneur en eau des boues est constitué :

- **d'une étape d'épaississement** par voie gravitaire,
- **d'une étape de déshydratation mécanique.**

Cette réduction de la teneur en eau conduit à la production de boues pâteuses.

II.3.1.2.1.1 La réduction de la teneur en eau

a. L'épaississement par voie gravitaire

Les boues biologiques excédentaires, extraites du clarificateur contiennent 99 % d'eau. Elles sont **concentrées gravitairement** lors de leur passage dans **un décanteur gravitaire statique encore appelé épaisseur**. L'épaisseur est en fait un réacteur cylindro-conique dont le volume est voisin de 1 à 3 extractions hebdomadaires. Les boues s'accumulent en fond d'ouvrage et sont extraites par un bras racleur. La siccité des boues est souvent proche de 4% avec des teneurs en matières sèches pouvant passer de **10 à 25 g/L en 12 heures** par simple tassement gravitaire [8]. Le surnageant est renvoyé en tête du BA.

b. La déshydratation mécanique

Les boues en sortie d'épaisseur passent par une **table d'égouttage et un filtre à bandes**, filière de déshydratation la plus rencontrée. Son principe est de comprimer entre deux bandes de toile filtrante, la boue ayant été floculée par un ajout de polymère organique ou minéral en tête de table d'égouttage. La concentration en matière sèche des boues est alors **comprise entre 8 et 13 %**. Quelques cas font cependant référence à **l'utilisation de centrifugeuses** pour déshydrater les boues (principalement dans le département des Côtes d'Armor). Mais, la manipulation de ces boues déshydratées et leur stockage (leur pouvoir fermentescible étant important) restant délicats, on procède de plus en plus à leur stabilisation.

II. 3.1.2.1.2 La stabilisation chimique par chaulage

Cette stabilisation consiste à ajouter **une quantité importante de chaux vive ou éteinte sur la boue deshydratée** (en général 30 % de la Matière Sèche). Elle a pour but de bloquer l'activité biologique en élevant le pH au delà de 12 et d'augmenter la siccité et la texture des boues. Elle permet donc la transformation des boues en un amendement calcique pour les terres acides.

Il est important de souligner des différences entre l'utilisation de chaux vive ou éteinte.

La chaux vive réagit avec l'eau de la boue pour donner de la chaux éteinte. Cette réaction provoque une élévation de la température et une augmentation de la siccité par consommation d'eau dans la réaction et par évaporation due à la chaleur. La chaux éteinte, apportée directement ou issue de la chaux vive selon la réaction décrite précédemment, provoque l'augmentation du pH ainsi qu'une floculation. Le pH redescend ensuite progressivement, en même temps que la chaux éteinte disparaît.

L'augmentation du pH induit par l'ajout de chaux éteinte ou de chaux vive (qui est d'autant plus efficace qu'elle entraîne également une augmentation de la température et de la siccité) peut entraîner une mortalité des pathogènes. Les données disponibles d'abatement seront présentées ultérieurement dans la partie évaluation des risques.

II.3.1.2.1.3 La stabilisation thermique

Le séchage thermique consiste à évaporer l'eau contenue dans une boue préalablement déshydratée. Il vise plusieurs objectifs l'élimination partielle ou totale de l'eau interstitielle, de la texture des boues si son épandage est envisagé, l'augmentation de son pouvoir calorifique si l'incinération est envisagée (2 cas d'abattoirs de porcs recensés en Bretagne). Ce séchage est réalisé avec deux types de sècheurs (directs ou indirects) qui permettent un séchage partiel (30 à 45 % de siccité), poussé (60 à 90 % de siccité) ou total (supérieur à 90 %). Il permet la stabilisation des boues en inhibant le développement microbien et donc les fermentations, et conduit même à l'hygiénisation lors d'un séchage total. Ce séchage thermique peut être précédé par une digestion anaérobie des boues (2 cas identifiés sur 26 abattoirs répertoriés par les DDSV de Bretagne) avant l'étape de réduction de la teneur en eau. Les boues séchées se présentent sous une forme pulvérulente ou de granulés. Cette stabilisation représente une filière coûteuse qui reste donc réservée aux très grosses structures.

II.3.1.2.2 Pour les petits abattoirs de porcs et de volailles

Ces établissements produisent essentiellement des **boues liquides voire épaissies**. Ce sont donc les boues **directement extraites du traitement par boues activées** ou provenant **d'un épaissement gravitaire**.

II.3.1.3 Volumes et stockage des boues brutes produites

II.3.1.3.1 Volumes produits

Que ce soit au niveau du Ministère de l'Agriculture, de l'ADEME ou d'autres organismes institutionnels ou professionnels, **aucune étude n'a permis de déterminer avec précision le volume de boues affectable au fonctionnement de ces abattoirs autonomes**.

Dès lors, **deux alternatives ont été envisagées pour avoir une estimation de ces volumes**. La première consistait à utiliser les données de flux en matières organiques, des rendements d'épuration des STEP et d'un coefficient de production de boue fournies par les agences de bassins.

La seconde était d'utiliser les résultats d'un travail de synthèse [2] sur l'évaluation de l'impact du projet de règlement européen sur les sous-produits animaux non destinés à la consommation humaine, menée par les organismes suivants : FNADE, SPDE, FNEAP, SNIV, FIA, FNSA et SYPREA.

La première alternative n'a pu être mise en œuvre faute principalement de temps pour recueillir l'ensemble des données et pour cause de données manquantes dont la non prise en compte des établissements échappant aux redevances des agences de l'eau.

La seconde a permis de dégager les gisements de boues suivants :

Nb d'abattoirs de catégorie 2 (ne traitant pas de ruminants)	Effluent (en m ³ /an)	Boues (en t de MS/an)	Boues à 15% de MS (en t de MB/an)	Sables (en t de MB/an)	Graisses (en t de MB/an)	Refus (en t de MB/an)
Porcin : 32	15 453 000	43 700	291 000	-	14 800	47 000
Volaille : -	12 100 000	1 200	8 000	-	-	-

* MS : matières sèches et MB : matières brutes (humides)

Tableau n°6 : Estimation des gisements français en boues d'abattoir

Ces chiffres sont à prendre avec prudence car ils résultent de bases de calculs estimés. Les principales données considérées sont :

- une estimation du volume d'effluent par la prise en compte d'un tonnage moyen de carcasses traitées et d'un volume moyen d'eau consommée de 5 à 6 m³ par tonne de carcasses,
- une charge polluante pour un abattoir de 5 à 10 fois plus élevée que pour un effluent urbain.

Si l'on ramène ces volumes annuels de boues d'abattoirs au volume de boues d'épuration urbaine (environ 850 000 t de MS/an), elles correspondent à **environ 1,5 % des boues produites en France.**

II.3.1.3.2 Conditions de stockage

Quel que soit le type de boues épandues, les DDSV imposent aux exploitants d'abattoirs de prévoir **un dispositif de stockage des boues pour une période moyenne de 8 mois** (s'échelonnant de 6 à 10 mois respectivement en Finistère et en Morbihan). Cette période doit permettre de garantir l'absence d'épandage en hiver et de pallier à l'interdiction d'épandre lors de conditions défavorables (notamment climatiques avec une pluviométrie importante).

Les boues liquides sont stockées via des silos à boues ou des lagunes couvertes d'entreposage. Cette contrainte n'est pas sans répercussion sur les petites installations puisqu'elle a conduit à des capacités de stockage importantes (1 000 à 3 200 m³) et au recours en période hivernale à des unités de déshydratation mobiles (pour gagner en terme de volume à stocker).

Les boues pâteuses ou chaulées sont stockées dans des silos à boues ou sur des plates-formes de stockage couvertes.

II.3.2 Epandage

La mise en place et la gestion de l'épandage de boues d'épuration s'appuient sur les données réglementaires précédemment citées en intégrant les caractéristiques physico-chimiques du sol et des boues épandues, les données climatiques ainsi que les délais et distances sanitaires définis. **Cette partie a pour objectif de faire le point sur l'organisation de cette pratique à l'échelle nationale et de la Bretagne.**

Pour cela, les informations ont été recueillies auprès des Chambres d'Agricultures et des DDSV de Bretagne. Les interlocuteurs ont été notamment les inspecteurs des installations classées des services

vétérinaires et les sources documentaires consultées ont été les arrêtés d'autorisation d'exploiter des abattoirs ainsi que les plans d'épandage associés.

II.3.2.1 Critères de choix des parcelles

Chaque exploitation agricole pratiquant l'épandage a fait l'objet d'une enquête précise concernant l'assolement, le cheptel pâturant ou la répartition culturale sur les parcelles retenues. Cette enquête tient compte de la géologie, de l'hydrologie et des ressources en eaux, des caractéristiques physico-chimiques des sols (analyses granulométriques et chimiques (matière organique, pH, P_{total} , bases échangeables,...)) et du climat (température, bilan hydrique : précipitation, évapotranspiration, ruissellement, ...).

Les sols (ou périmètres d'épandage) sont alors classés en trois catégories :

- Classe 2 : sols sains, peu hydromorphes, permettant un épandage toute l'année aux doses agronomiques conseillées,
- Classe 1 : sols relativement hydromorphes, aptes à l'épandage en période de déficit hydrique,
- Classe 0 : sols hydromorphes sur colluvions ou alluvions, avec une forte circulation d'eau, excluant d'épandre,
- Hors périmètre : sols qui excluent la pratique de l'épandage.

Les épandages sont exclusivement menés sur les sols de classes 1 et 2.

II.3.2.2 Données agronomiques

Les boues doivent respecter les teneurs limites en éléments traces métalliques et composés traces organiques (définies dans l'annexes VII.A de la loi des ICPE et dans l'articles 3 de l'arrêté du 17 août 1998). De plus, l'arrêté du 22 novembre 1993 relatif aux bonnes pratiques agricoles définit trois types de fertilisants selon le rapport C/N :

- ✓ Fertilisants de classe I : avec un rapport C/N élevé ($>$ à 8) comprenant les fumiers et les déjections avec lisier, (avec une subdivision entre Ia et Ib correspondant respectivement à l'absence ou à la présence de fumiers de volailles et de fientes à plus de 65% de MS),
- ✓ Fertilisants de classe II : avec un rapport C/N faible ($=$ à 8) constitués par les déjections avec litière ou les engrais du commerce animal,
- ✓ Fertilisants de classe III : qui sont les fertilisants minéraux et uréique de synthèse.

Les boues d'abattoirs entrent majoritairement dans la classe II.

II.3.2.3 Doses, cultures et moyens d'épandage

La directive nitrate (91/676/CEE) et la loi modifiée n° 76-663 du 19 juillet 1976 imposent que l'industriel respecte l'équilibre de fertilisation azotée lors des épandages, assurant le respect des besoins des cultures.

La dose de boues épandues est alors calculée par rapport :

- ✓ à la valeur fertilisante de la boue (en azote, phosphore et potassium principalement),
- ✓ à l'exportation par les cultures des éléments minéraux apportés,

- ✓ au climat, à la variété des cultures, aux conditions de culture, au rendement escompté, aux apports additionnels en engrais minéraux et organiques.

Les boues liquides (des deux types d'abattoirs) sont épandues en moyenne à hauteur de **1,5 à 2 tonnes de matières sèche à l'hectare, soit environ 50 m³ par hectare**. Le maximum relevé est de 100 m³ par hectare. L'épandage s'effectue à l'aide d'une tonne à lisier avec une rampe assurant un épandage près du sol.

L'épandage des boues pâteuses ou chaulées se font grâce à un épandeur à fumier et selon les cultures à hauteurs (en moyenne) de :

Types de cultures	Boues des abattoirs de porcs et de volailles
Prairies temporaires	3 t de MS/ha soit 80 m³/ha (max : 7 t de MS/ha)
Maïs	2 de MS/ha soit 50 m³/ha (max : 5 t de MS/ha)
Tournesol	0,7 t de MS/ha soit 16 m³/ha
Céréales	1,5 t de MS/ha soit 45 m³/ha

Tableau n°7 : Volumes de boues épandues en fonction du type de cultures

L'épandage de boues chaulées ne peut se faire que sur des sols dont le pH est compris entre 5 et 6.

De plus, cet épandage ne se fait pas sur toutes les cultures et à n'importe quel stade (**souvent 2 à 3 semaines avant le semis**) :

Type de cultures	Epandage
Pairies	- grande souplesse avec une bonne protection vis à vis de l'érosion ou le lessivage des sols et avec une exportation importante des éléments minéraux
Maïs	- avant implantation et avant labour
Céréales	- envisageable sur chaumes avec facilitation de la minéralisation, la repousse des céréales fait un couvert végétal des boues, - épandage sur les repousses permet un stockage des éléments minéraux apportés par les boues et donc limite l'entraînement de l'azote par le drainage hivernal

Tableau n°8 : Intérêts d'épandre des boues en fonction du type de cultures

Les boues pâteuses ou solides se dégradent plus lentement que les boues liquides. Ainsi, il est souvent conseillé de n'épandre ces boues qu'à l'automne ou au début de l'hiver, une fois que les animaux ont quitté les pâturages, et sur herbe rase. Une autre alternative évoquée est l'enfouissement des boues dans le cas d'une pratique culturale.

L'épandage est souvent réalisé par une entreprise de travaux agricoles extérieurs, en accord avec les agriculteurs et supervisé par l'industriel. Les épandages se font de manière cyclique (période de retour d'environ trois ans) afin de respecter les besoins nutritifs des plantes. Cependant, dans le cas où les surfaces agricoles utiles ne sont pas suffisantes pour instaurer cette rotation, cela peut occasionner des problèmes de saturation des sols avec des ruissellements ou des contaminations des végétaux présents.

II.3.2.4 Résumé des restrictions d'épandage

Les restrictions réglementaires sur les distances minimales et les délais d'épandage sont fixées à partir de l'arrêté modifié du 2 février 1998.

Les données recueillies dans les arrêtés d'autorisation et dans les plans d'épandage consultés sont résumées dans le tableau suivant :

<i>Epandage</i>	<i>Conditions</i>
Interdiction	<ul style="list-style-type: none"> - Suivant les programmes d'actions départementaux, - Lors de gel ou de neige, - Lors de fortes pluviométries ou risques d'inondation, - En dehors des terres régulièrement travaillées, des prairies et forêts exploités, - Sur des terrains à forte pente, - Sur des périmètres classés en aptitude 1 pendant des périodes d'excédents hydriques des sols, - A moins de 100 m (si boues enfouies au plus tard dans les 12 heures) ou 50 m (si enfouissement immédiat) des habitations, - Si non respect de 6 semaines avant remise à l'herbe des animaux ou récolte fourragère, après un épandage sur herbage ou cultures fourragères.
Pré-requis	<ul style="list-style-type: none"> - Respect des doses agronomiques et des délais sanitaires, - Constitution et consignation d'un registre d'épandage par l'exploitant de l'installation (référence parcelle, date, contexte météo, volume épandu, culture, identification des personnes physiques ou morales chargées des opérations d'épandage et d'analyses, - Etablissement d'un plan prévisionnel d'épandage (transmis avant le premier décembre de chaque année pour l'année suivante) et d'un bilan agronomique (transmis avant le 30 avril de chaque année), - Mesures périodiques à la charge du pétitionnaire par un établissement spécialisé et agréé par l'inspection des installations classées : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Valeurs agronomiques des boues avec mesures des MO, MS, pH, N_{total}, NH₄, rapport C/N, P_{total}, K_{total}, Ca_{total}, Mg_{total}, ✓ Analyses sur Cu, Zn, B, Se, ✓ Suivis technique et agronomiques du sol et du fourrage : MO, pH, phosphore assimilable, Capacité d'échanges du sol, Bases échangeables, éléments traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn), ✓ Analyses possibles sur les eaux de surface.

Tableau n°9 : Récapitulatif des conditions réglementaires d'épandage

III. RECAPITULATIF

III.1 Caractéristiques des abattoirs autonomes

Pour les deux types d'abattoirs, il a été impossible dans le temps imparti de référencer tous les établissements autonomes français. Il est donc primordial qu'une étude soit menée en collaboration par exemple avec le Ministère de l'Agriculture, les Chambres d'Agriculture, les DDSV et les Agences de l'eau pour accéder à cette donnée. Ce serait également l'occasion de déterminer avec précision la répartition du nombre de petits et gros établissements, avec les parts de chaque filière de traitement des effluents et des boues, ainsi que les volumes de boues affectables et leur gestion.

III.1.1 Abattoirs de porcs

On constate tout d'abord, une grande disparité en terme de traitements des effluents et des boues au sein des établissements de même taille, ainsi qu'entre des établissements de taille radicalement différente (gros et petits abattoirs).

Les établissements privés assurent la quasi totalité du tonnage abattu, ils disposent majoritairement de leur propre STEP (autonome). En effet, vu l'importance des volumes et des flux de polluants générés, la majorité des STEP urbaines aurait du mal à prendre en charge le traitement de leurs effluents. Ils produisent des boues surtout pâteuses ou chaulées qui seront destinées à la valorisation agricole.

Les petits abattoirs sont surtout publics et majoritairement connectés à des STEP urbaines. Seules quelques unités restent autonomes et sont caractérisées par des filières de traitement des boues parfois absentes ou très réduites. Ainsi, ils procèdent à des épandages directs d'effluents ou de boues liquides.

Compte tenu de cette situation, la prise en compte pour l'évaluation des risques de ces deux types d'abattoirs (petites et grosses structures) et de leurs caractéristiques fonctionnelles (filières de traitements spécifiques) est indispensable. En effet, les gros abattoirs devront être abordés pour leur importance en terme d'abattage et donc pour la grande quantité des boues qu'ils produisent. Les petits abattoirs, même s'ils ne sont que peu représentatifs en terme de quantité de boues générées, seront intéressants compte tenu de leur traitement arbitraire voir absent, qui peut laisser envisager des risques micro-biologiques en cas d'épandage.

III.1.2 Abattoirs de volailles

Les mêmes constatations que pour la filière porcine, en terme de disparités entre les traitements des effluents et des boues en fonction de la taille des structures, peuvent être faites. Il en est de même pour la stratégie à retenir pour l'évaluation des risques, c'est à dire en tenant compte de toutes les tailles d'abattoirs. Cependant, les abattoirs de volailles semblent être constitués d'un nombre plus important de petits établissements et de certaines spécificités de traitement comme le lagunage aéré.

III.2 Caractéristiques des effluents

Cette étude a pris seulement en compte les eaux techniques des abattoirs, excluant ainsi les contaminations potentielles par des agents biologiques humains, issus des eaux domestiques (des sanitaires). Ces effluents d'abattoir sont constitués principalement des eaux de lavage dont les caractéristiques physico-chimiques sont compatibles avec la survie, voire même avec le développement de certains agents biologiques. Leur composition est surtout influencée par la flore digestive des animaux abattus.

NB : Les caractéristiques des boues produites ayant été résumées lors de l'évocation des caractéristiques des abattoirs autonomes, elles ne seront donc pas de nouveau abordées.

III.3 Pratiques d'épandage

Les pratiques exposées correspondent surtout à la situation rencontrée auprès des grosses unités d'abattage. Elles ne sont donc pas généralisables à tous les établissements. En effet, des lacunes sont à noter principalement pour les petites structures où les plans d'épandage et surtout les cahiers d'épandage sont soit absents, soit en cours d'instruction, soit insuffisamment suivis ou inopérants.

PARTIE 2 : Recueil des données pour l'évaluation du risque

En tenant compte des données recueillies lors de la caractérisation du fonctionnement des installations, on peut aborder **l'évaluation du risque** (ERS). Par définition (selon le NRC en 1983), l'évaluation du risque est “ ... l'utilisation de faits (scientifiques) pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou des situations dangereuses ”. Elle s'articule autour de **quatre étapes : l'identification des dangers, la définition des relations dose-réponse** (ces deux premières étapes sont souvent regroupées), **l'évaluation des expositions humaines et la caractérisation des risques**. Cette démarche est applicable, moyennant quelques aménagements, aux agents pathogènes pour la santé humaine, qu'ils soient de nature physique ou **biologique** (micro-organismes, allergènes, aérocontaminants,...). Il n'existe actuellement pas de méthodologie spécifique aux agents biologiques en France, on applique donc la méthodologie globale, habituelle pour les substances chimiques. Cependant, la méthodologie américaine d'évaluation du risque biologique de C. HASS [15] et la démarche sur l'appréhension de l'évaluation du risque biologique par R. BONNARD de l'INERIS [55] ont également été pris en compte.

I. Identification et caractérisation des dangers

Il est tout d'abord nécessaire de déterminer les agents pathogènes d'intérêt dont les porcs et les volailles sont porteurs, résultant soit d'un portage sain, soit d'une maladie non recherchée par les services vétérinaires, soit d'une infection en période d'incubation.

Puis, pour ces agents biologiques, l'ensemble des données disponibles nécessaires à l'évaluation du risque sanitaire lié à l'épandage des boues d'épuration sont présentées et analysées. Pour cela, en plus de contacts professionnels, des recherches documentaires ont été entreprises sur les bases de données Pascal, de l'ADEME, des Agences de l'eau et du MEDD, dans la Banque de Données en Santé Publique (BDSP), dans les fichiers Ialine - Agricola-biosis- Embase- Pollulab - Compendex, sur “ Blackwell Publishing ”, dans “ Journal of Food Protection ”, dans “ Science Direct ” et dans “ Journal of Applied Microbiology ”, avec de nombreuses combinaisons de mots clés (les principaux étant : boues d'épuration, abattoirs, épandage, porcs, volailles, pathogènes, nom des différents agents pathogènes identifiés,...).

I.1 Sélection des agents pathogènes d'intérêt

I.1.1 Arbre décisionnel adopté

En ce qui concerne le recueil de données relatif à l'évaluation du risque, la première étape consiste à identifier les agents biologiques pathogènes d'intérêt. Pour cela, la sélection a été opérée selon un arbre décisionnel suivant, composé de critères de sélection classés et utilisés par ordre décroissant d'importance :

- 1) Identification des principales maladies animales et des agents biologiques qui en sont responsables ;

- 2) Sélection des zoonoses (majeures et mineures selon la classification OIE) présentes en France et intégration de certaines maladies communes à l'homme et aux animaux dont le réservoir principal est l'environnement ;
- 3) Prise en compte des agents biologiques présents dans les boues d'épuration : présence constatée (avec sa concentration associée) ou potentielle (liée à l'observation d'une contamination fécale ou à la présence dans des tissus ou des liquides physiologiques des animaux) ;
- 4) Considération de la pathogénicité des agents biologiques et de la gravité des maladies induites ;
- 5) Recherche des DMI et des relations dose/réponse puisqu'elles permettent de quantifier les effets sur la santé ;
- 6) Prise en compte des données écologiques dont :
 - les modes de transmission : les maladies transmissibles par voies cutanées (coupures principalement) ou respiratoires (inhalation des agents, associés ou non à des particules) ne seront pas sélectionnées et seront plutôt assimilées à des maladies professionnelles,
 - les données relatives à leur survie dans l'environnement,
- 7) Considération des taux d'abattement dus aux traitements des effluents et des boues.

Les informations nécessaires à cette sélection ont été recueillies par le biais de la classification OIE des maladies transmissibles de la liste A et B (*qui est présentée en Annexe 6*), de données issues du CDC d'Atlanta, de fascicules et de cours des ENVF sur les zoonoses bactériennes et parasitaires [20], [21], d'un mémoire d'Ingénieur du Génie Sanitaire [9], de rapports de l'ADEME [33], [47], de l'INVS [51], [56], du CNRS [52], de l'AFSSA, de l'ACIA [57] et du Centre Canadien d'Hygiène et Sécurité au Travail (CCHST) [58] ainsi que via des entretiens téléphoniques.

1.1.2 Identification des principales maladies animales et sélection des zoonoses

Les agents biologiques pathogènes considérés ont été de trois types : les bactéries, les virus et les parasites.

- Les bactéries sont des organismes unicellulaires procaryotes. Leur taille varie de 1 à 10 microns.
- Les parasites sont des organismes qui, pendant tout ou partie de leur existence, vivent aux dépens d'autres êtres vivants appelés hôtes. Il existe trois types de parasites : les champignons, les protozoaires et les helminthes. Les champignons sont des pathogènes opportunistes qui sont également très répandus dans l'environnement. Ainsi, leur " non spécificité animale " ne permet pas de les intégrer. Les protozoaires sont des êtres unicellulaires vivant le plus souvent en association (commensale ou symbiotique) avec leur hôte au niveau du tube digestif. Enfin, les helminthes sont des vers intestinaux plats (cestodes) ou ronds (nématodes).
- Les virus dont la taille s'échelonne entre 10 et 350 nm, se situent à la limite entre les êtres vivants et les macromolécules : ils ne disposent pas du matériel génétique et des capacités de synthèse nécessaires à leur reproduction. Ils ont de ce fait besoin de la machinerie cellulaire de leur hôte pour pouvoir se répliquer. **Aucun virus n'a été considéré comme germe d'intérêt.** Cette absence s'explique par la grande spécificité d'hôte de ces organismes pour le porc ou les volailles, qui limite le risque de transmission à l'homme. De plus, à l'exception des bactériophages (non identifiés chez les porcs et les volailles), les virus ne peuvent se multiplier dans l'environnement : ce sont des parasites cellulaires obligatoires.

Ainsi, leur grande spécificité d'hôte et leur résistance modérée dans l'environnement font des virus porcins et aviaires des agents biologiques non pertinents pour évaluation des risques sanitaires liés à l'épandages des boues d'abattoirs.

• **Les agents transmissibles non conventionnels (ATNC) n'ont pas été pris en compte** puisqu'aucune preuve n'a été fournie sur leur présence chez les porcs ou les volailles (données ITP, ENVF, 2003).

Les principales maladies chez les porcs et les volailles ayant été identifiées, cette opération a conduit à établir le tableau suivant :

	<i>Nombre total d'agents biologiques</i>	<i>Bactéries</i>	<i>Virus</i>	<i>Parasites</i>
Porcs	46	24	12	10
Volailles	33	16	12	5

Tableau n°10 : Répartition des agents biologiques pathogènes en fonction de l'espèce animale

Le détail des micro-organismes porcins et aviaires identifiés et considérés, est présenté respectivement en **Annexes 7 et 8**.

A partir de la liste des maladies présentes chez les porcs et les volailles, il a été dégagé les maladies **transmissibles à l'homme** (les zoonoses) et **recensées sur le territoire français**. Cette étape a permis d'établir **une liste d'agents biologiques non transmissibles à l'homme via les boues d'épuration et l'environnement**, présentée en **Annexe 9**.

1.1.3 Liste des germes d'intérêt retenus

La pertinence des agents biologiques retenus à ce stade a été estimée selon les informations disponibles sur les autres critères hiérarchiques fixés dans l'arbre de décision. Cette sélection ne s'est pas uniquement appuyée sur le nombre de critères renseignés. Elle a été le fruit d'une véritable interprétation au cas par cas, en fonction du nombre de critères d'exclusion ou d'intérêt et de leur poids hiérarchique.

Les principaux critères d'intérêt sont :

- une présence avérée et/ou une concentration importante dans les effluents ou dans les boues d'épuration d'abattoirs de porcs et de volailles,
- une prévalence porcine et/ou aviaire forte,
- une appartenance à la flore fécale animale,
- une incidence importante sur la santé humaine,
- une transmission à l'homme par ingestion,
- une preuve avérée d'une maladie humaine suite à la transmission d'agents biologiques d'origine aviaire ou porcine,
- une forte virulence du pathogène,
- une survie importante dans l'environnement (comme l'existence d'une forme sporulée).

A l'opposé, les principaux critères d'exclusion pris en compte sont :

- une absence avérée dans les effluents ou les boues d'épuration d'abattoirs de porcs et de volailles,

- une prévalence faible chez les porcs et/ou les volailles,
- une appartenance à la flore cutanée animale (ces bactéries ne sont pas les plus qualitativement et quantitativement importante),
- une appartenance à la flore environnementale (ces agents qui seraient relargués lors de l'abattage n'influenceraient que faiblement un réservoir environnemental déjà important),
- une incidence (avérée) faible sur la santé humaine,
- une transmission à l'homme par inhalation ou contact (ces voies de transmissions correspondent surtout à des expositions professionnelles au niveau du personnel d'abattoir),
- un portage non fécal (une localisation plutôt dans les tissus musculaires par exemple, limite le risque d'avoir l'agent pathogène dans l'effluent ou les boues d'épuration compte tenu de la probabilité d'avoir des organismes viables et en nombre suffisant),
- une faible virulence du pathogène,
- l'existence d'un plan d'éradication ou d'une campagne de prophylaxie sur les cheptels aviaires ou porcins,
- faible survie dans l'environnement.

Ce travail a permis :

✓ **de dresser une liste d'agents biologiques d'intérêt mineur** : Ce sont des organismes dont on détient des informations sur de nombreux critères de l'arbre décisionnel, mais dont le poids de certains critères d'exclusion n'en fait pas des agents biologiques d'intérêt majeur. Ainsi cette liste, exposée en **Annexe 10**, est constituée de cinq bactéries recensées chez les porcs (*Bacillus anthracis*, *Brucella suis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Erysipelothrix rhusiopathiae* et *Leptospira interrogans*) et de deux bactéries chez les volailles (*Mycobacterium avium* et *Aeromonas hydrophila*). Pour les parasites, on compte un parasite commun aux deux espèces animales (*Giardia lamblia*) et deux parasites chez les porcs (*Toxoplasma trèes* et *Trichinella spiralis*).

✓ **d'établir une liste d'agents biologiques d'intérêt majeur pouvant engendrer un risque pour l'homme**. Le **tableau n°11** (en page suivante) récapitule les principaux critères utilisés.

Il est à noter que le critère " présence et concentration en agents biologiques dans les effluents ou les boues d'épuration " est considéré comme d'un intérêt capital pour la sélection des pathogènes (se référer à sa place dans l'arbre de décision). Cependant, la pauvreté en terme d'informations disponibles a fait que cette sélection a été essentiellement établie à l'aide des autres critères. Son étude fait par ailleurs l'objet d'une partie distincte ultérieure du mémoire.

Agents biologiques	Espèces animales porteuses	Zoonose selon OIE	Présence dans les fèces	Présence dans les boves d'épuration	Portage sain	Incidence santé humaine	Transmission par ingestion	Virulence	Opportunisme	Campagne de lutte ou suivi	Réservoir environnement	Survie environnement	Germe d'intérêt
<i>Bacillus anthracis</i>	Porcs	Majeure	-	Suspectée	-	++	-	+	-	+	-	+	++
<i>Brucella suis</i>	Porcs	-	+	Suspectée	+	+/-	possible	-	-	++	-	Nd	Minneur
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Porcs	-	+	+	+	+/-	possible	+	+	-	++	Nd	Minneur
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Porcs	Mineure	+	Suspectée	+	+/-	Surtout cutanée	-	-	-	+	++	Minneur
<i>Leptospira interrogans</i>	Porcs	Majeure	+	Suspectée	+	++	Surtout cutanée	-	-	-	+	++	Minneur
<i>Mycobacterium avium</i>	Volailles	-	-	Suspectée	+	+	Surtout respiratoire	+	+	-	+	++	Minneur
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Volailles	-	+/-	Suspectée	+	+/-	+	-	+	-	++	++	Minneur
<i>Toxoplasma très</i>	Porcs	-	-	Suspectée	+	+	+	-	-	-			Minneur
<i>Trichinella sp</i>	Porcs	-	-	Suspectée	+	+/-	+	-	-	-		+/-	Minneur
<i>Giardia lamblia</i>	Volailles	-	+	Suspectée	+	+/-	+	+	-	-	-	+++	Minneur
<i>Campylobacter jejuni</i> et <i>coli</i>	Porcs et volailles	Mineure	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	Majeur
<i>C. botulinum</i> et <i>perfringens</i>	Porcs et volailles	-	+	+	+	+	+	++	- (sauf botulinum)	-	++	+++	Majeur
<i>E.coli entero-hémorragiques</i>	Porcs	Mineure	+	+	+	+	+	++	-/+	-	-	+	Majeur
<i>Listeria monocytogenes</i>	Volailles	Mineure	+	Suspectée	+	+	+	+	+	-	+	+	Majeur
<i>Salmonella typhimurium</i> et <i>enteridis</i>	Porcs et volailles	Majeure	+	Suspectée	+	+	+	+	-	-	-	++	Majeur
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Porcs	Mineure	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	Majeur
<i>Cryptosporidium spp</i>	Porcs et volailles	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	Majeur

Tableau n°11 : Récapitulatif des principaux critères de sélection pris en compte

Légende :

- propriété absente +/- propriété dont la présence est envisageable ou peu importante, + propriété présente
++ propriété importante +++ propriété très importante ND : propriété non déterminée

I.2 Caractérisation des dangers

Seul les agents biologiques d'intérêt majeur sont considérés. Ils sont au nombre de **neuf bactéries** : *Campylobacter jejuni* et *coli*, *Clostridium botulinum* et *perfringens*, *Escherchia coli* Entéropathogène, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* et *typhimurium*, *Yersinia enterocolitica* et d'**un parasite** *Cryptosporidium parvum*. Ces agents biologiques sont présents à la fois chez les porcs et les volailles (qui sont des réservoirs naturels). Seul *Escherchia coli* Entéropathogène, *Yersinia enterocolitica* sont beaucoup plus fréquents chez les porcs que chez les volailles et inversement pour *Listeria monocytogenes*.

Ces pathogènes sont présentés sous la forme de fiches descriptives, avec une présentation générale des données disponibles sur ces agents et avec une reprise des critères de sélection considérés (à savoir, l'épidémiologie animale : espèces animales porteuses, prévalence), les effets sur la santé humaine (pathologie humaines induites et relations dose réponse ou DMI) et l'écologie (voies d'exposition, résistance dans l'environnement).

Remarque : La présence, les concentrations et les taux d'abattement de ces organismes dans les boues ou les effluents seront abordés plus concrètement dans une partie spécifique.

I.2.1 Fiches descriptives

I.2.1.1 Les bactéries

Campylobacter spp.

- C'est une bactérie Gram négatif, aérobie, en forme de spirille qui croît à une température optimale de 42°C. Il existe cinq espèces dont *C. jejuni* et *C. coli* qui sont présents dans **le tube digestif des porcs** (à hauteur de 43,2% en France [14] et jusqu'à 85% [12] voir 100% [10]) **et des volailles [38]** (bactéries commensales). Il existe **un portage sain des porcs et des volailles adultes**. Il est l'agent d'une zoonose mineure.
- Ces sont des bactéries opportunistes, responsables surtout d'infections chez les personnes immunodéprimées. Elle est présente dans le monde entier (12 à 15% des entérites en Hollande [38] et de 5 à 14% des affections diarrhéiques mondiale [10]) et affecte tous les groupes d'âges. Cependant, aucun lien directe entre une origine animale n'a pu être établi.
- La transmission à l'homme se fait par :
 - **l'ingestion d'aliments dont la cuisson est insuffisante ou absente, ou d'eau contaminée,**
 - le contact de personne à personne : voie féco-orale (exemple pas de lavage des mains),
 - le contact direct avec les animaux infectés : voie féco-orale.
- Les conséquences de son ingestion sont le plus souvent des diarrhées, des vomissements, des douleurs abdominales et plus rarement des convulsions, un syndrome de Guillain-Barré ou une méningite.
- La **DMI recensée est variable** : fourchette moyenne de 10 à 1000 agents biologiques et dont 500 organismes pour [10], [11] par ingestion.
- La **survie de ces bactéries dans l'environnement est assez longue**. La survie de *Campylobacter spp.* peut aller de 2 à 35 jours selon la température et le milieu [5] alors que *Campylobacter jejuni* peut survivre dans l'eau jusqu'à 1 mois (à une température de 4°C) [20], [21]. Néanmoins *C. jejuni* ne tolère pas la dessiccation (intérêt dans le cas du séchage des boues) et résiste mal à la chaleur.

Ainsi, en considérant **l'existence d'un portage animal sain**, d'une **DMI faible**, d'une **affection de tous les groupes d'âges** chez l'homme, **leur présence dans les boues de STEP autonomes d'abattoirs de porcs** (prévalence de 50 %) **et de volailles** (prévalence de 100 % en Hollande [16] notamment), d'une **résistance dans l'environnement**, de sa **voie de transmission**, on doit intégrer *Campylobacter jejuni* et *coli* dans les agents biologiques d'intérêt majeur.

Clostridium spp.

- Les *Clostridium spp* sont des bactéries Gram positif, anaérobies strictes qui se présentent sous la forme de bâtonnets épais et courts, non mobiles, pouvant pour certaines produire une entérotoxine. Ces bactéries sont répandues dans l'environnement sous sa forme de résistance de spore. Trois espèces sont souvent trouvées chez les animaux et l'homme : *C. perfringens*, *C. botulinum* et *C. tetani*. Cependant, alors que *Clostridium tetani* n'a jamais été recensé chez les porcs ou les volailles, ***Clostridium botulinum* et *Clostridium perfringens* sont présents à la fois chez les deux espèces**. On s'intéresse donc à ces deux espèces bactériennes chez les porcs et les volailles.

C. botulinum est naturellement présent sous forme de spores dans le tube digestif des **porcins et surtout des volailles**. Ces spores sont excrétées via les matières fécales dans l'environnement. **Ce germe ne présente pas de risque lié à l'eau** puisque la germination des spores n'est possible que lorsque les conditions d'anaérobiose, de température et de pH sont adéquates. La bactérie en elle-même est sans effet, mais **la toxine qu'elle produit est responsable du botulisme chez l'homme**. On distingue différentes souches. Le botulisme de type B est le plus fréquemment rencontré en France et en Europe. **Le porc est souvent un porteur sain de *C. botulinum* B [25]**. Le **botulisme aviaire de type C ou D** est peu rencontré chez l'homme, l'homme étant sensible au type C. cependant, **l'apparition de botulisme E dans des élevages industriels de poulets** est plus préoccupante, du fait de la gravité de cette forme chez l'homme et de sa fréquence dans certains pays. Jusqu'à maintenant, aucune pathologie humaine en France [25] n'a pu être reliée au botulisme E aviaire.

- On distingue trois modes de contamination [11]:
 - Le **botulisme d'origine alimentaire** : pouvant provoquer la mort, causé par l'ingestion de la toxine botulinique préformée présente dans des aliments contaminés (toxine synthétisée suite au développement de bactéries sur un aliment souillé). Il est caractérisé par la présence d'une paralysie flasque aiguë des muscles du visage, de la tête et du pharynx jusqu'au thorax et aux extrémités. La mort peut survenir en raison d'une insuffisance respiratoire,
 - Le botulisme par blessure souillée (plutôt pour des expositions professionnelles): survient à la suite de la croissance de l'organisme dans une blessure contaminée. La toxine est alors libérée dans la circulation sanguine et entraîne les mêmes symptômes que pour la forme précédente,
 - Le botulisme d'origine infantile : survient en raison de l'ingestion de spores et de la croissance ainsi que de la production de toxine dans le tractus intestinal. Il touche presque exclusivement les nourrissons âgés de moins d'un an et sa gravité clinique est à large spectre.
- Durant la période 1970-1995, 25 cas humains par an (en moyenne) ont été répertoriés en France [24]. Ce chiffre peut sembler faible et avec une origine animale non démontrée, mais on néglige les cas de botulisme non déclarés, ne faisant pas l'objet d'investigation de laboratoire ou de certaines formes bénignes non diagnostiquées cliniquement, qui pourraient être beaucoup plus importants.

- La DMI pour *Clostridium spp.* est de 10 organismes par gramme d'aliments ingérés [11], avec une sécrétion de toxine extrêmement active.

L'aptitude de ces bactéries à sporuler leur assure une grande capacité de survie dans l'environnement : seule une exposition à la chaleur humide à 120 °C pendant 15 minutes détruit les spores (une ébullition de 10 minutes détruit la toxine).

C. perfringens est un germe commensal du tractus digestif des animaux (dont les porcs et les volailles) et de l'homme.

- En ce qui concerne leur pathogénicité, les souches de type A sont responsables surtout d'intoxications alimentaires (affection intestinale caractérisée par une colique soudaine suivie de diarrhée; les nausées, les vomissements et la fièvre sont généralement absents). En effet, les entérotoxines sécrétées par les agents biologiques pathogènes forment des pores à la surface des membranes cellulaires pour pénétrer à l'intérieur de la cellule. Ces souches impliquées dans 10 à 15 % des toxi-infections alimentaires, le plus souvent bénignes, de courte durée, sporadiques, touchent essentiellement les personnes âgées ou immunodéprimées. Ces bactéries peuvent aussi causer la contamination de plaies (myonécrose traumatique ou non traumatique (gangrène gazeuse), cellulite à *Clostridium*, septicémie intra-abdominale, cholecystite gangreneuse). Les souches de type C (beaucoup plus rares) causent quant à elles une entérite nécrosante. Elles sont rencontrées chez le jeune enfant et sont suivies d'une péritonite ou d'un état de choc fatal.
- Excrétées dans le milieu extérieur, ces bactéries survivent longtemps du fait de leur capacité à sporuler. Elles sont retrouvées dans l'eau, sur les végétaux et dans le sol où elles sont très résistantes. Elles résistent habituellement à la chaleur, survivent aux températures normales de cuisson et ne sont détruites que par une chaleur humide (121°C / 15 minutes) [23].
- Le mode de transmission principal est l'ingestion d'aliments contaminés par le sol ou les matières fécales.
- La DMI est de 10 organismes par gramme d'aliments ingérés [11].

Ce sont des agents biologiques responsables de maladies communes à l'homme et aux animaux, dont les principaux réservoirs sont l'environnement et certaines espèces animales. Cependant, **leur grande résistance** (sous forme de spore), **la puissance des toxines produites**, **leur transmission possible par ingestion**, **la gravité des pathologies** et **la faible DMI** (pour *C. perfringens*) imposent de prendre en compte ces agents biologiques.

Escherichia coli O157 : H7

- *Escherichia coli* entéro-hémorragique est une famille de bactéries Gram positif qui se présentent sous la forme de bâtonnets. Elles sont aérobies strictes et peuvent produire une vérotoxine. Le principal sérotype étant *E.coli O157 : H7*, c'est lui que nous considérerons.
- On retrouve cette bactérie **chez les porcs**, les oiseaux n'étant pas un réservoir mais suspectés d'être un vecteur potentiel. Les porcs sont souvent des porteurs sains et une source d'introduction dans les abattoirs. Une étude menée par l'Institut Technique du Porc (ITP) sur la qualité hygiénique en 2001 des abattoirs [27], a estimé **qu'un tiers des porcs français abattus étaient des porteurs sains fécaux** (étude portant sur 182 porcs analysés dont 56 positifs). C'est une zoonose mineure, par contact direct ou indirect avec des animaux ou des déchets infectés.
- **La toxine qu'elle produit est très puissante** et peut provoquer des affections graves chez l'homme. Ainsi, cette toxine peut engendrer une colite hémorragique, affection intestinale

accompagnée de crampes et de douleurs abdominales, d'une diarrhée liquide d'abord puis sanguinolente, d'une faible fièvre qui dure environ 8 jours. Elle affecte surtout les jeunes enfants, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées (pour lesquels la mortalité est la plus importante). Pour 5 à 10 % des sujets atteints (2 à 10 % sont des cas infantiles [25]) ces affections peuvent dégénérer en un syndrome hémolytique et urémique (S.H.U) conduisant à des insuffisances rénales aiguës. Cas extrême, le S.H.U peut déboucher sur un purpura thrombopénique qui est une affection du système nerveux central se manifestant par des pertes de connaissance et le coma. La formation de caillots de sang cérébraux est possible.

- Le taux d'incidence observé en France est de 1 S.H.U pour 100 000 personnes dont 63 % sont dus à *E.coli O157:H7* [25]. Cependant, de grandes variations sont observées à l'échelle régionale avec des taux maximums de 1,6 à 2,6 pour 100 000 personnes respectivement en Bretagne et en Auvergne.
- Les modes de transmission sont :
 - **l'ingestion d'aliments dont la cuisson est insuffisante ou absente** (exemple : au Japon en 1996 avec 5 700 cas) **ou d'eau souillée** (exemple : en Oregon avec 2000 cas),
 - le contact interhumain (transmission extrêmement élevée) : voie féco-orale,
 - le contact direct avec les animaux infectés : voie féco-orale.
- La **DMI** semble **faible**, inférieure à 100 organismes par ingestion [46] ; Elle est souvent supposée semblable à celle de *Shigella spp* avec 10 organismes par ingestion [11]. Si aucune courbe dose-réponse n'a été établie pour cette bactérie, sa similitude avec *Shigella M31* [26] permet d'utiliser sa courbe (établie sur des hommes adultes et en bonne santé). On obtient alors une DI_{50} de 238, avec une loi Béta-Poisson et les paramètres définis dans [15].
- D'une manière générale, elle survit facilement dans les matières fécales et le sol contaminé avec une réduction de sa survie de 1 à 23 semaines dans les fèces et de moins de 10 semaines dans les sols [5], [11]. Cependant, d'autres études sur *Escherichia coli spp.* et *Escherichia coli O157:H7* (mais principalement sur les fèces et les fumiers de bovins ou ovins) ont été menées telles que :

Auteurs	Agents biologiques	Conditions de survie		Résistance
Winslow et Cohen, 1918 (cité dans [18])	<i>Escherichia coli</i>	Dans l'eau		Réduction de 99% de la population au bout de 10 jours
Donsel et al, 1967 (cité dans [18])	<i>Escherichia coli</i>	Dans le sol	Hiver Eté	13,4 jours 3,3 jours

Tableau n°12 : Résistance d'*Escherichia coli* dans l'environnement

Enfin, sa survie est meilleure dans des effluents à **hautes teneurs en MES en particulier** ceux maintenus dans des conditions anaérobies et à des **températures inférieures à 23°C** (température optimale s'échelonnant entre 4 et 10°C). Un autre facteur déterminant est bien entendu la nature du support où elle est disposée (par exemple les sols herbeux lui sont très favorables). Une étude a même montré qu'elle pouvait se développer sur de la salade stockée à 12°C et 21°C pendant 14 jours (Abdoul – Raouf UM et al, 1993).

Ainsi, la forte prévalence animale, l'existence d'un portage sain, la puissance de sa toxine, la gravité potentielle de cette maladie, de sa voie de transmission par ingestion, l'affectation de tous les

groupes d'âges, d'une DMI faible, et d'une assez grande résistance dans l'environnement ont suscité sa sélection.

Listeria monocytogenes

- *Listeria monocytogenes* est une bactérie Gram positif, microaérophile et aérobie facultative, non sporulée et ayant tendance à se grouper en chaînettes ou palissades. Toutes les souches doivent être considérées comme potentiellement pathogènes pour l'homme [30].

Le réservoir en *L.monocytogenes* correspond à l'ensemble des espèces sensibles ou réceptrices au germe, c'est à dire de nombreux mammifères dont les humains (5 % de porteurs asymptomatiques dans les selles) et les suidés (même si elle est rare chez le porc) ainsi que les oiseaux (avec dans l'ordre de sensibilité : **le poulet, la dinde et le canard**) (source CNRS, 2001). Elle se développe plutôt de manière épisodique **chez les volailles et reste le plus souvent asymptomatique (portage sain)**.

- La listériose est une **maladie émergente** assez récente (diagnostiquée dans le début du vingtième siècle). Elle est caractérisée par une **exceptionnelle gravité** (méningite et septicémie chez le nouveau né et l'adulte, avortement chez la femme enceinte) et la létalité est particulièrement importante (20 à 30 % des cas, avec 50 % chez les nouveau nés [11]). On distingue une prédilection importante pour les personnes dont le système immunitaire est perturbé (nouveau nés (40% des cas cliniques [11]), femmes enceintes, personnes âgées ou immunodéprimées) : c'est un pathogène opportuniste. L'incidence chez l'homme reste faible : incidence annuelle de 4 à 7 cas par millions d'habitants dans les pays industrialisés [30], avec en France environ 300 cas par an mais avec un nombre de cas en augmentation. L'origine animale de la maladie humaine a été parfois établie, mais cette filiation épidémiologique est souvent peu évidente.

- Les modes de transmission sont :

- **l'ingestion d'aliments contaminés** (mode essentiel de transmission ; exemple : épidémie de 1992 en France avec 279 cas ; une contamination de légumes a été signalée),
- le contact direct avec du matériel infectieux ou du sol contaminé par les matières fécales d'animaux infectés : voies féco-orales ou cutanées (lésions papuleuses sur la peau),
- la transmission interhumaine (voie sexuelle et inhalation).

- Si aucune DMI n'a vraiment été identifiée pour l'ingestion, les données épidémiologiques actuelles révèlent qu'aucune listériose humaine a été causée par un aliment contaminé par moins de **100 organismes par gramme ou millilitre** [30].

- C'est une bactérie non sporulée mais qui présente **une grande résistance** à la chaleur (jusqu'à 60°C pendant 30 minutes) et au froid (c'est une bactérie psychrophile, résistante et se développant aux températures de réfrigération). Elle résiste d'autant mieux que la température est basse et le milieu poreux. Elle survie facilement dans le sol (plusieurs mois), l'eau, les aliments et les fécès. Elle est capable de mener une vie saprophytique, en se multipliant dans des milieux pourvus en matières organiques : c'est ce réservoir environnemental qui contamine les animaux et les denrées d'origine animale. Elle est néanmoins détruite à un pH inférieur à 4 et elle est sensible aux rayonnements UV et gamma à ondes courtes.

Ainsi, l'intérêt pour cette bactérie résulte **de l'attente et des préoccupations sociales** (suite à son implication dans des intoxications alimentaires), **du caractère émergent de la maladie**, de **ses capacités de survie**, de **l'existence d'un portage sain animal** (même si le lien avec la maladie humaine est discuté) et **d'une DMI supposée faible**.

Salmonella spp.

- Les Salmonelles font partie de la famille des *Enterobacteriaceae*. Ce sont des bactéries Gram négatif, aérobies et anaérobies facultatives, qui se présentent sous la forme de bâtonnets. On recense pas moins de 2 000 sérotypes pathogènes.

On distingue trois catégories de Salmonelles : celles dont l'homme est le seul réservoir (*S. typhi* et *S. paratyphi A*), celles qui ne se rencontrent que chez l'animal (*S. gallinarum pullorum*, *S. abortus equi*, *S. typhi suis*) et **celles qui ont pour hôtes naturels les animaux mais qui peuvent contaminer les humains (*S. typhimurium* et *S. enteritidis*)**. Ce sont ces dernières qui présentent un intérêt et qui seront traitées. En France, ces deux sérotypes font partie des sérotypes les plus fréquemment rencontrés chez les animaux dont les porcs et les volailles : le premier rang pour *S. typhimurium* et le cinquième rang pour *S. enteritidis* (données AFSSA) qui sont présentes dans leur tube digestif.

- Le principal réservoir de *Salmonella enteritidis* est constitué par les volailles de rente [29], alors que les porcs et les volailles sont les principaux réservoirs de *S. typhimurium*. Ces animaux infectés ne présentent généralement pas de symptômes de la maladie (portage sain). On estime que la prévalence de *Salmonella* est de 0 à 13% [28] chez les animaux de ferme. Cependant, le portage porcin semble plus important et augmenter avec l'âge : la prévalence chez les porcelets est très faible, environ 0,25 % (Nelson JW et coll, 1982), alors que celles des animaux de réforme est élevée allant jusqu'à 79 % (Nelson JW et coll, 1982). En Allemagne, la prévalence porcine de *Salmonella* est de 7,3 % [44] et en France, environ 10 % des volailles abattues hébergent des *Salmonella* [20], [21]. L'excrétion des agents biologiques se fait via les fientes et les fécès avec des pics du taux d'excrétion lors des périodes de stress (exemple épisode du transport vers l'abattoir) [50]. En Hollande, une prévalence de 84 % des boues physico-chimiques de STEP d'abattoirs autonomes de volailles ainsi que de 90 % et 92 % pour les boues physico-chimiques et biologiques de STEP d'abattoirs autonomes de porcs [38] a été mise en évidence.

- Chez l'homme, la maladie touche tout les tranches d'âge et indifféremment du sexe. Elle se traduit par une fièvre, des nausées, des diarrhées et des crampes abdominales après 12 à 72 heures. La maladie dure en générale moins d'une semaine. Cependant, chez le nourrissons ou les personnes âgées la déshydratation peut être grave et entraîner une hospitalisation. Les décès sont rares sauf pour les jeunes sujets, les personnes âgées ou immunodéprimées où l'infection peut évoluer en septicémie, en endocardites ou en pneumonie. La prévalence de la maladie est de 13,8 pour 100 000 personnes pour la population française [32], ce qui correspondait en 1998 à 2 485 cas recensés [31].

- La transmission à l'homme se fait par :

- **l'ingestion d'aliments contaminés directement ou indirectement** : voie la plus courante (exemples : légumes d'un jardin fertilisé par un fumier contaminé ou par de l'eau souillée),
- le contact de personne à personne : voie féco-orale (exemple : oublier de se laver les mains),
- le contact direct avec les animaux : voie féco-orale (exemple : fumer après avoir manipulé un animal infecté).

- En terme de toxi-infection, un aliment est souvent toxique à cause du nombre important de salmonelles plus que de la virulence de la souche considérée. D'une manière générale, la DMI est souvent élevée de l'ordre de 10^5 à 10^9 par ingestion [33]. Cependant, on trouve des valeurs se situant entre 100 à 1 000 par ingestion [11] dans le cas de souches virulentes (se multipliant chez l'homme). De plus, une courbe dose-réponse a été établie (Mc CULLOUGH et EISELE, cité dans

[34]) alors que les paramètres qui lui sont associés ont été identifiés dans [15], permettant d'avancer une DI_{50} de $2,36.10^4$ organismes.

- De nombreuses études mettent en évidence que **les salmonelles survivent pendant de longues périodes dans l'environnement.**

Auteurs	Espèces	Conditions de survie	Résistance
Braga, 1964	<i>S. typhimurium</i> <i>S. choleraesuis</i>	29°C	4 à 9 jours
	<i>S. typhimurium</i>	6°C	23 à 38 jours
		Conditions de décomposition 25°C	45 jours
Pohl, 1955	<i>S. typhimurium</i> <i>S. newport</i> <i>S. kottbus</i> <i>S. senftenberg</i>	Boues décomposées	7 à 8 semaines
Findlay, 1973	<i>S. typhimurium</i> <i>S. dublin</i> <i>S. agona</i>	Boues	Résistance et multiplication

Tableau n°13 : Résistance de *Salmonella* spp. dans l'environnement

Cette résistance a également été appréhendée par une étude menée par STRAUCH D. en 1979, à la suite d'un épandage de boues biologiques d'une STEP urbaine. Sur les 303 échantillons de sol analysés, 26 % des échantillons d'herbe contenaient des salmonelles jusqu'à la cinquième semaine et 59 % des échantillons de sol prélevés en surface étaient positifs jusqu'à la dixième semaine.

Le fait que les porcs et les volailles soient le **principal réservoir du germe**, l'existence d'un **portage sain animal, la présence avérée de *Salmonella* spp. dans les boues d'épuration d'abattoirs** (critère fondamental de sélection qui sera évoqué ultérieurement), la prévalence de la maladie chez l'homme et l'animal et **ses capacités de survie** sont les principaux critères de sa sélection.

Yersinia spp.

- On s'intéresse plus particulièrement à *Yersinia enterocolitica* et de manière secondaire à *pseudotuberculosis*.

Yersinia enterocolitica, de connaissance récente puisque son apparition brutale dans la pathologie animale ne remonte qu'à 1955, a rapidement pris en pathologie humaine une importance croissante [20]. Il s'agit d'une maladie commune à l'homme et aux animaux (la preuve de la transmission de l'animal à l'homme n'étant pas encore apportée), avec un réservoir commun constitué par le milieu récepteur. Ainsi *Y. enterocolitica* est une bactérie Gram négatif, largement répandue dans le sol, les eaux et les végétaux et chez de nombreux animaux dont le **porc principalement**. Elle est l'agent d'une zoonose mineure. *Y. pseudotuberculosis* est quant à elle surtout présente **chez les porcs**.

- *Yersinia enterocolitica* O:3 est présente à hauteur de 12,5 % dans les **féces de porcs** adultes en Norvège [10], en accord avec Nielsen et al. (1996) et à des teneurs en agents biologiques allant de 300 à 110 000 organismes par g de matières fécales Shiozawa et al. (1991). La présence de ce germe (*Y.e.* sérotypes O :3, O :5 et O :9) dans l'effluent est accrue si le personnel d'abattoir coupe

malencontreusement l'estomac (prévalence entre 4,2 et 16,7% en Norvège [10]), le côlon (prévalence de 15 % (FAIN-BINDA JC et coll. 1999)), les amygdales (prévalence de 8,1 % (OFFERMANN U et coll.1999)), l'iléum ou le caecum (prévalence de 20,9 % (LETELLIER A et coll., 1999)). Cependant, le risque de rencontrer cette bactérie est le plus important chez les jeunes porcs puisque l'on assiste à un déclin du portage entre 30 et 70 jours. De plus, il est important de souligner le caractère saisonnier de l'infection : il y a une prédominance d'octobre à mai.

- La transmission à l'homme se fait par :
 - **l'ingestion d'aliments dont la cuisson est insuffisante ou absente, ou d'eau contaminée,**
 - le contact interhumain (cas familiaux) : voie féco-orale (exemple : pas de lavage des mains),
 - le contact direct avec les animaux infectés : voie féco-orale.
- L'impossibilité de reproduire la maladie, l'ignorance de la durée d'incubation ralentissent la compréhension des mécanismes épidémiologiques.

Les **porcs ne sont pas toujours malades** (diarrhées essentiellement) et peuvent quand même **excréter le germe** et transmettre la maladie.

- Chez l'homme, *Y. enterocolitica* et *pseudotuberculosis* provoquent les mêmes syndrômes : atteinte entérique pur ou gastro-enterique, adénite mésentérique, érythème noueux ou septicémie. Seules vont varier les fréquences respectives de chaque forme. Ainsi, *Y. enterocolitica* et *Y. pseudotuberculosis* sont surtout responsables de manifestations digestives (80% des cas d'infection due à *Y. enterocolitica* avec diarrhées et douleurs abdominales), prédominantes chez les enfants (deux tiers des cas avant 7 ans et la moitié avant 2 ans) [20]. Les autres formes sont beaucoup plus minoritaires mais avec des cibles bien définies : la femme adulte pour l'érythème noueux et les sujets âgés, cirrhotiques ou diabétiques, les anémiés, ..., l'ensemble des immunodéprimés pour la forme grave septicémique.
- La DMI pourrait être de l'ordre de 10^6 organismes [11].
- La survie de ce germe est fonction des caractéristiques de son environnement (sensibilité identique aux bactéries en général) allant de 2 à près de 200 jours dans les eaux et jusqu'à 540 jours dans le sol [5].

Ainsi, compte tenu entre autres **des incertitudes** (liées à sa DMI, à sa présence dans les boues d'épuration,...), du **portage sain**, de leur **aptitude à survivre dans l'environnement** et de **l'attente sociale** (suite à son implication dans des intoxication alimentaires), *Y. enterocolitica* fait partie des agents biologiques d'intérêt croissant.

I.2.1.2 Les parasites

Cryptosporidium spp.

- Ce parasite est un protozoaire de 2 à 6 microns selon son stade de développement (**Annexe 11**). Il présente un cycle évolutif complexe où ce sont les oocystes (excrétés dans les matières fécales) qui constituent la forme de résistance et de contamination directe pour l'homme et les animaux. Des pics du taux d'excrétion ont été identifiés lors de périodes de stress (exemple épisode du transport vers l'abattoir) [22].
- Il existe plusieurs espèces parmi lesquelles *Cryptosporidium parvum* est la **plus répandue** et celle qui sera *a posteriori* prise en compte puisqu'il est **présent à la fois chez le porc et la volaille** (absence de spécificité d'hôte). Sa présence est souvent asymptomatique chez les animaux adultes, qui en sont les principaux réservoirs bien que moins excréteurs que les plus jeunes. Il est à

noter que la prévalence de *Cryptosporidium* chez l'animal suit des variations saisonnières avec un minimum en été [22].

- Un **portage sain des animaux adultes** est possible avec une valeur moyenne d'excrétion de 9 000 oocystes par gramme de fécès [17] (chez les porcs).
- Chez les immunocompétents la maladie reste le plus souvent asymptomatique (responsable d'environ 2% des diarrhées dans les régions tempérées [20], [22]). Les signes cliniques sont alors des gastros entérites avec des vomissements, diarrhée et fièvre, le plus souvent chez les enfants. Cependant, elle occasionne chez les immunodéprimés des diarrhées cholériques (jusqu'à 2 à 6 litres/jour), une déshydratation, des désordres électrolytiques et une importante perte de poids qui imposent une hospitalisation. Elle est en forte augmentation avec environ 20 % des diarrhées diagnostiquées en France [20], [22].
- La transmission à l'homme se fait par :
 - **l'environnement : ingestion de bactéries (exemples : légumes d'un jardin fertilisé par un fumier contaminé ou par de l'eau souillée),**
 - le contact de personne à personne : voie féco-orale (exemple : absence de lavage des mains),
 - le contact direct avec les animaux : voie féco-orale (exemple : fumer après avoir manipulé un animal infecté).
- Au delà d'être une zoonose, la cryptosporidiose peut être considérée comme **une maladie hydrique** responsable des plus importants épisodes de cette maladie (le parasite ayant été retrouvé à plusieurs reprises dans les eaux de consommation, suite à des épidémies). Cependant, la transmission par voie féco-orale reste le mode de transmission majeur, avant le contact direct.
- La DMI recensée est **variable mais faible** avec une fourchette moyenne allant de 10 à 1000 agents biologiques [22] et une "DI₅₀ ou Dose Infectieuse 50%" de 132 organismes [5].
- L'étude d'OLSON et al. (citée dans [18]) donne une survie pour *C. parvum* supérieure à 6 semaines dans le sol ou dans l'eau à une température de 25°C. Plus récemment en 2002, une étude de JENSKINS et al. (citée dans [19]) compare la survie de *Cryptosporidium spp* dans différentes natures de sol et à diverses températures. Elle conclue notamment que la température est un facteur déterminant dans la survie de ce parasite et que les températures basses la favorisent. Des taux de décroissance sont enfin avancés (en supposant une loi de décroissance d'ordre un) : 0,0012 jour⁻¹ à 4°C et dans un sol limono-sableux, 0,0205 jour⁻¹ à 30°C et dans un sol limono-argilo-sableux, 0,0077 jour⁻¹ à 4°C et 0,0327 jour⁻¹ à 30°C dans l'eau. Cependant, *Cryptosporidium spp.* ne résiste pas au gel et à une température supérieure à 65°C [20], [22].

Le **portage sain animal**, la **transmissibilité par ingestion**, la responsabilité dans des **maladies hydriques**, l'augmentation des cas diarrhéiques lui étant lié, l'existence de **formes graves pour l'homme**, une **DMI faible** et sa **résistance dans l'environnement** font donc de ce parasite un germe d'intérêt.

Remarque : Des commentaires sur les relations dose-réponse et sur les données de résistance dans l'environnement sont présentés en **Annexe n°12 et 13**. En effet, les données recueillies doivent être nuancées et utilisées avec prudence.

1.2.2 Concentrations et taux d'abattement des pathogènes lors des étapes de traitement

1.2.2.1 Les teneurs en agents biologiques pathogènes

La présence et la teneur en pathogènes au niveau des effluents et surtout des boues d'épuration d'abattoirs de non ruminants sont des données fondamentales pour la sélection des agents biologiques d'intérêt (cf l'arbre décisionnel) et la quantification du risque. Or, **un manque important de données aux niveaux français et international a été mis en évidence.**

En effet, si la microbiologie des effluents d'abattoirs est un sujet étudié depuis la fin des années soixante, seules **deux études majeures ont été référencées au niveau français.**

- La première a été réalisée par l'équipe de LECLERC et OGER [35] en 1973. L'intérêt de cette étude est la prise en compte de l'abattage spécifique de porcs et de volailles. Elle étudie ainsi deux abattoirs non autonomes sur une année : un abattoir industriel avec un hall d'abattage de porc et un hall d'abattage de bovin, et un abattoir municipal avec un hall d'abattage de porcs et un de volailles et la STEP urbaine qui traite leurs effluents . Pour cela des prélèvements ont alors été effectués au niveau des halls d'abattage et des collecteurs principaux, avant leur traitement et leur évacuation. Ces limites résultent du plan d'échantillonnage n'utilisant que des prélèvements ponctuels dont la représentativité est donc discutable, du choix des installations, puisque les deux établissements n'étaient pas autonomes et de la prise en compte d'un nombre réduit d'agents biologiques (autres que les agents biologiques témoins de contamination fécale), les investigations portant surtout sur *Salmonella spp.* et *Pseudomonas aeruginosa*.

Cependant, elle a permis de démontrer la présence dominante de *Salmonella spp.* dont *S. enteridis* et *S. typhimurium* dans les effluents bruts et prétraités des abattoirs ainsi qu'après le traitement biologique établi au niveau des STEP urbaines recevant leur effluent. Les données de cette étude seront reprises et présentées ultérieurement dans le **tableau n°: 15.**

- En ce qui concerne la seconde étude, elle a été réalisée par l'équipe " Environnement de l'UMR 960 de microbiologie INRA / ENV de Toulouse " en 2002 [4]. Elle porte sur six abattoirs du Sud Ouest de la France de faible capacité et raccordés à un système épuratoire communal. Quatre campagnes de mesures ont alors été réparties de février à octobre 2002 sur les effluents bruts, prétraités ou traités (puisque certains abattoirs disposaient d'un système de traitement biologique ou physico-chimique avant leur rejet en STEP communale) et les boues fraîches d'épuration. Parmi les agents biologiques analysés, seuls *Salmonella spp.*, *Listeria spp.*, *Yersinia spp.* et *E. coli O157* font partie des agents biologiques d'intérêt retenus. Cependant, aucun abattoir n'était spécifique dans l'abattage de porcs ou de volailles. De plus, si un abattoir mixte procédait à un abattage majoritaire de porcs alors qu'un autre disposait bien d'une filière de traitement des effluents représentative de notre investigation (traitement biologique par boues activées), aucun n'alliait les deux caractéristiques. D'autre part, des problèmes d'échantillonnage ou de représentativité de résultats (peu de prélèvements ou parfois des prélèvements ponctuels au lieu de prélèvements représentatifs de plusieurs heures de fonctionnement) ont été relevés. Ainsi, l'étude se focalisant sur des abattoirs non spécifiques aux espèces animales d'intérêt, l'absence de prise en compte des filières types représentatives du traitement des effluents, ainsi que des problèmes d'échantillonnage rendent difficile son utilisation.

Cependant, elle permet de confirmer :

- ✓ la présence régulière de pathogènes dont surtout les salmonelles,

- ✓ de fournir des notions en terme d'efficacité de traitements des effluents (surtout physico-chimiques),
- ✓ l'inefficacité des prétraitements en matière d'abattement de pathogènes,
- ✓ que les effluents d'abattoirs présentent de faibles taux de contamination par rapport aux effluents urbains.

Au niveau international, l'état de connaissance en matière de caractéristiques bactériologiques des effluents et des boues d'abattoirs de porcs ou de volailles est principalement focalisé sur les salmonelles. Le bilan établi sur les agents biologiques d'intérêt est le suivant :

Agent biologique	Type d'effluent	Lieu	Référence
<i>Salmonella spp.</i>	Effluent d'abattoir de porcs avant et après traitement physico-chimique	Belgique	De Zutter et Van Hoof, 1984 [39]
<i>Salmonella spp.</i>	Effluent prétraité d'abattoir multi-espèces	Ecosse	Johnston et al, 1986 [40]
<i>Salmonella spp.</i>	Effluent d'abattoir avec ou sans traitement biologique	Australie	Smith et Grau, 1974 [41]
<i>Salmonella spp.</i>	Effluent d'abattoir de porcs, bovins et volailles	Danemark	Sogaard et Brest, 1979 [42]
<i>Salmonella spp.</i>	Effluent d'abattoir de porcs, de bovins et de volailles	Royaume-Uni	Linklater, Margaret, Graham et Sharp, 1984 [43]
<i>Salmonella typhimurium</i>	Effluent d'abattoir de porcs	Allemagne	Altrock et al, 1999 [44]
<i>Aeromonas spp.</i>	Fécès de poulet	Turquie	Akan et al, 1998 [45]
<i>Salmonella spp., Yersinia enterocolitica, Clostridium spp., Campylobacter jejuni et coli,</i>	Effluent d'abattoir de porcs, et de volailles	Hollande	Fransen, Van den Elzen, Urlings et Bijker, 1996 [38]

Tableau n°14 : Etudes internationales (hormis en France) en matière d'analyses bactériologiques des effluents d'abattoirs

Les valeurs recensées au plan international (incluant les études françaises) en matière de concentration en agents biologiques d'intérêt dans les effluents et les boues d'abattoirs de porcs et de volailles, sont résumées dans le tableau suivant :

Agent biologique	Présence avérée effluents et boues (porcs et volailles)	Concentration dans l'effluent brut	Concentration dans les boues fraîches (porcs et volailles)	Sources
------------------	---	------------------------------------	--	---------

<i>Campylobacter jejuni et coli</i>	oui	10⁶ UFC par mL (dans bac d'échaudage abattoir de porc)	–	[38], [48]
<i>Salmonella spp.</i>	oui	3,9.10⁴ UFC par mL (abattoir de porcs)	–	[35]
		3,3.10³ UFC par mL (abattoir de volailles) 10² à 10⁴ UFC par mL (abattoir mixte)	– 10² à 10⁴ UFC g de MS (abattoir mixte)	[4]
<i>Yersinia enterocolitica</i>	oui	–	- 6,3.10² à 2.10⁷ UFC / g de MS boues physico-chimiques, - 2,8 à 4,7 log / g de MS boues biologiques	[38]
<i>Cryptosporidium spp.</i>	oui	–	–	[17]
<i>Clostridium spp.</i>	oui	0,6.10⁴ UFC par mL (abattoir mixte) (C. sulfito-réducteurs)	3,1 à 5,8 log / g de MS	[38], [48]

Tableau n°15 : Récapitulatif des concentrations en agents biologiques d'intérêt

I.2.2.2 Les taux de réduction liés aux étapes de traitement

Pour cette partie, on ne s'est pas strictement restreint aux filières de traitement des effluents et des boues précédemment ciblées en partie 1 et aux agents biologiques d'intérêt majeur. Un véritable état des lieux a été réalisé pour avoir une idée plus globale sur toute les filières envisageables et sur tous les agents biologiques d'intérêt (mineur ou majeur). Ceci permettra entre autre d'acquérir des données indispensables pour une évaluation du risque des abattoirs ayant des filières de traitement " atypiques " (différentes des filières représentatives précédemment identifiées).

Pour identifier ces taux d'abattement, les sources d'informations ont été le CEMAGREF, les Agences de l'eau (dont [5]), les INRA, les traiteurs d'eau dont l'étude [36] de la Générale des eaux et de la Lyonnaise des eaux, l'ADEME et un rapport de la Commission Européenne de 2001.

Cependant, là encore **de lourdes lacunes ont été identifiées**, sachant que les informations disponibles, portent peu sur les pathogènes identifiés et retenus.

L'ensemble des données issues de cette recherche est résumé dans les **Annexes n°14 et n°15**.

Il est important de noter que :

- Ces données sont des valeurs moyennes recensées compte tenu des variations possibles liées aux conditions opératoires dans le cadre d'expériences scientifiques sur pilote ou d'expériences sur des installations à taille réelle. Ces conditions influençant sont une conduite et une surveillance différentes, des réglages différents de la station (temps de traitement, by-pass,...) et l'intervention de paramètres physico-chimiques : teneur en MES, irradiation, température et pH). Toutefois, l'extrapolation d'une station à une autre est envisageable et cohérente. En effet, les différences observables ne sont pas significatives [46] et les résultats restent toujours du même ordre de grandeur (passage des concentrations en pathogènes aux unités Log).
- La filière "boues" des abattoirs de porcs et de volailles est caractérisée par un stockage de longue durée (6 à 10 mois) qui permet de faire correspondre l'évacuation des boues aux disponibilités locales, aux contraintes agronomiques et réglementaires. Or, une certaine efficacité sur la réduction des agents biologiques lui est reconnue pour les agents biologiques peu résistants et

faiblement compétiteurs (BARON et al., 1987). De plus, son effet est surtout efficace l'été mais peu efficace sur *Clostridium spp.* qui est capable de sporuler ainsi que sur *Salmonella* qui est susceptible de croître dans les boues non hygiénisées.

Cependant, compte tenu des lacunes sur les données relatives :

- aux concentrations en agents biologiques pathogènes dans les effluents et surtout dans les boues d'épuration d'abattoirs de non ruminants,
- aux abattements microbiologiques liés au fonctionnement des filières de traitement des effluents et des boues,

la sélection des agents biologiques d'intérêt a pris en compte les autres critères de sélection précédemment définis (excepté pour *Cryptosporidium spp.*, *Salmonella spp.*, *Clostridium spp.*, *Yersinia enterocolitica* et *Campylobacter coli* et *jejuni* dont la présence est avérée dans les boues d'abattoirs de porcs et de volailles) et **l'évaluation des risques sanitaires qui est menée, restera purement qualitative.**

En effet, une évaluation quantitative du risque était impossible à établir pour les agents biologiques identifiés, du fait de l'absence ou de l'impossibilité d'utiliser (par un manque de représentativité) une ou plusieurs des données suivantes :

- les prévalences animales,
- les valeurs de concentration dans les boues d'épuration,
- les taux d'abattement dans les filières de traitement des boues,
- les données permettant de quantifier les effets sur la santé (relations dose-réponse,...),
- la résistance des agents biologiques dans l'environnement.

Ces lacunes viennent s'ajouter à celles précédemment citées lors de la première partie avec notamment l'estimation du nombre d'établissements, du volume de boues produites et de la répartition précise de ces boues en terme d'épandage (volumes épandus sur prairies, sur céréales..., même si cette information peut faire l'objet d'une hypothèse lors des scénarios d'exposition).

II. Evaluation des expositions

Pour pouvoir aboutir à l'établissement de scénarios d'exposition et à un calcul d'excès de risque individuel, une évaluation des expositions est nécessaire à partir de données relatives **aux concentrations en pathogènes dans les boues et au niveau du sol après épandage, aux populations exposées, aux voies de contamination et aux milieux vecteurs impliqués.**

II.1 Concentration en pathogènes dans les sols après épandage

Pour pouvoir évaluer les risques sanitaires liés à l'épandage des boues, il est indispensable de déterminer la concentration en pathogènes dans les boues avant et après épandage. Si les valeurs disponibles au niveau de la boue traitée ont été fournies précédemment, leur détermination au niveau du sol ne peut se faire qu'en intégrant les données recueillies lors de la caractérisation des pratiques d'épandage, incluant le stockage des boues, et en adoptant la méthodologie suivante :

1. On détermine **la concentration en pathogènes dans les boues fraîches** (C_b en UFC pour les bactéries et en nombre d'œufs pour les parasites par unité de masse de MS) qui est la donnée de départ. En effet, les imprécisions et les calculs trop arbitraires font que le passage du nombre d'organismes pathogènes excrétés dans les fèces animales à celui de la concentration en pathogènes dans l'effluent d'abattoir pour enfin accéder à la concentration dans les boues d'épuration n'est pas suffisamment réaliste. Cependant, le recueil des valeurs de concentrations dans l'effluent et les valeurs d'abattement liées à son traitement sont indispensables pour tenir compte de l'épandage direct d'effluent (d'où leur recherche dans la partie 2 et plus précisément dans "concentration et taux d'abattement).

2. On intègre ensuite **l'abattement** (A en % ou en unités log) **lié aux traitements des boues et au stockage**. On obtient alors :

$$C_b' = C_b \times A$$

3. On estime ensuite **la concentration dans le sol** (C_s en UFC par unité de masse de sol (ex : par t de sol)), pour une tranche de sol avec une profondeur d'enfouissement H et une section S de 1 ha :

$$C_s = (C_b' \times D_e) / M_{ha}$$

Avec

C_b' = la concentration en pathogènes après traitement : en UFC par unité de masse de MS des boues (en t),

D_e = dose de boues épandues en unité de masse de MS des boues (en t) par unité de surface d'épandage (par ha) : *cette dose est fonction du type de boues et de cultures ; les valeurs sont fournies dans la partie 1 de l'étude*

$$M_{ha} = S \times H \times r_{sol}$$

où

S = surface de référence = 1 hectare,

H = profondeur d'enfouissement, allant de 0 à 25 cm en fonction des restrictions,

r_{sol} = densité du sol en t par m^3 ; on prendra une valeur moyenne de 1,5 t par m^3 .

4. Prise en compte du **phénomène de décroissance dans les sols** au cours du temps est envisageable. Pour cela, on considère une loi exponentielle de décroissance d'ordre 1 :

$$C_t = C_0 \times e^{-kt}$$

Avec

C_0 la concentration initiale = C_s ,

k = la constante de décroissance propre à chaque germe (les données recueillies sont : 1,33 $jours^{-1}$ pour les salmonelles, 0,68 $jours^{-1}$ pour *E.coli O157 H7* et 0,0205 $jours^{-1}$ pour *Cryptosporidium spp.* [19]),

t = le temps considéré : ce temps est d'au moins 6 semaines pour le retour au pâturage d'animaux après épandage liquide et peut aller jusqu'à plusieurs mois pour les cultures (données fournies dans la Partie 1).

II.2 Les populations exposées

Pour qu'un risque existe, il faut qu'un danger soit combiné à une exposition. Or, toute la population n'est pas exposée au risque d'épandage. Les personnes exposées sont avant tout les personnes qui sont en contact direct avec les boues d'épuration, à savoir les ouvriers des sociétés d'épandage et les agriculteurs. On peut y intégrer les riverains des terrains où sont établis ces épandages (pour le risque d'aérodispersion) et potentiellement les familles de ces employés et agriculteurs, qui peuvent être exposées par les poussières retenues sur les vêtements. Si les individus immunodéprimés (représentant environ un quart de la population française), les jeunes enfants (en train de jouer) et les personnes âgées (se promenant) sont les plus sensibles aux infections éventuelles, leur présence pendant ou après l'épandage dans une prairie ou un champs céréalier semble peu probable et réaliste. Il en est de même pour les ramasseurs de végétaux qui demeurent peu nombreux et qui s'aventurent peu dans les champs agricoles ou les prairies où par ailleurs l'odeur et la présence des boues sur les végétaux les dissuadent de cueillir.

II.3 Voies de contamination et milieux vecteurs associés

Les données relatives au devenir des pathogènes après épandage sont rares et hétérogènes. Cependant, les pathogènes sont susceptibles de contaminer le sol et les cultures, les eaux superficielles ou souterraines et les animaux sauvages ou de rente, qui peuvent alors être des vecteurs de contamination pour l'homme.

Cette partie décrit les voies de contamination (directe ou indirecte) envisageables ainsi que les milieux vecteurs (sols, plantes, eaux, animaux) et les points d'exposition (boues, poussières, aérosols) qui leur sont associés.

II.3.1 La contamination directe

✓ Elle fait suite principalement à une ingestion directe (par les opérateurs, les enfants ou toute autre personne) de sol ou de boues suite au port des mains à la bouche ou lors d'actes, tels que fumer une cigarette. Des voies plus accidentelles par de petites plaies cutanées, les yeux, les voies respiratoires ou transcutanées sont toutefois envisageables mais peu probables si les contraintes et les équipements de sécurité sont respectés et portés.

✓ L'inhalation d'aérosols provenant d'épandage de boues liquides, ou de poussières issues de boues séchées ne présente qu'un risque faible sinon nul à courtes ou longues distances pour les riverains [47]. En effet, en ce qui concerne les poussières, les boues pâteuses ou chaulées (représentant la majorité des boues épandues par les grosses structures) ont une siccité trop faible pour permettre la formation et l'envolement de poussières (et notamment les particules de moins de 3 microns de diamètres, qui pourraient atteindre les voies pulmonaires) lors de leur épandage. De plus, si deux abattoirs ont été identifiés comme produisant des boues séchées (potentiellement sous forme pulvérulentes) celles-ci partent ensuite en incinération pour l'une et sont épandues en granulés pour l'autre (absence de la forme pulvérulente, la forme la plus à risque d'envolements). Enfin, un chaulage correct des boues doit permettre d'éliminer le risque biologique.

Pour l'épandage de boues liquides, le respect des bonnes pratiques d'épandage (conditions topographiques, hydrogéologiques, climatiques,...), le matériel utilisé pour l'épandage (buses réglables notamment) et le fait que la majorité des gouttelettes formées ont un diamètre suffisant

(supérieur à 4 ou 5 micromètres) pour être dégluties et non inhalées [48] permet d'écarter ce point d'exposition.

Seul le cas des épandages d'effluents bruts ou prétraités peut entraîner un risque non négligeable puisque un abattement nul ou tout au plus partiel des teneurs en pathogènes est établi. Cependant, ce cas reste limité aux plus petites structures d'abattage.

II.3.2 La contamination indirecte

Cette contamination fait intervenir différents milieux vecteurs : les aliments, l'eau et les animaux.

II.3.2.1 Les aliments

Une contamination est envisageable par l'ingestion concomitante de boues et de denrées consommées crues, telles que les cultures maraîchères, ou par l'ingestion par inadvertance de champignons ou de pissenlits contaminés, car cueillis sur ou aux voisinages des lieux d'épandage.

En effet, les boues et les organismes qu'elles sont susceptibles de contenir se déposent à la surface du sol et des végétaux. Dès lors, leur aptitude à survivre dans l'environnement sera fonction des caractéristiques propres à chaque germe et de nombreux facteurs environnementaux, dont le climat. Les données de résistance ont été développées précédemment de manière générale et spécifique pour chaque germe d'intérêt.

Cependant, l'interdiction d'épandre sur des cultures destinées à être consommées crues ou très peu cuites, limite l'exposition humaine par les produits maraîchers. De plus, comme l'épandage des boues ne se fait pas sur toutes les cultures (hormis les prairies, il est surtout mise en place pour le maïs et les céréales) et comme il a principalement lieu 2 à 3 semaines avant les semis (excluant ainsi une contamination des feuilles ou des épis et des grains de céréales), l'ingestion d'aliments contaminés d'origine végétale est peu probable.

II.3.2.2 L'eau

A la fois les eaux souterraines et superficielles peuvent être concernées.

a. Les eaux souterraines

La plupart des auteurs s'accordent pour dire que 90 à 95 % des micro-organismes s'accumulent à la surface du sol (dans les 5 premiers centimètres), les 5 % restant ne transitant que sur de faibles distances. Des mouvements importants des organismes dans le sol et la contamination des eaux souterraines ne sont envisageables que dans des circonstances très particulières, telles qu'une pluviométrie importante, un sol à structure très lâche (macro-porosité), un sous sol perméable, la proximité de la nappe phréatique et le cas particulier d'un milieu karstique. Or, selon les conditions normales et réglementaires de choix des parcelles aptes à l'épandage et selon les restrictions en fonction des conditions climatiques et hydrogéologiques (partie 1, Epandage), **ces conditions indispensables à la contamination des eaux souterraines sont peu probables.**

b. Les eaux superficielles

La contamination des eaux de surface est envisageable à partir d'un sol contaminé et en cas d'une pluviométrie importante, surtout si le sol est déjà saturé en eau (comme en conditions hivernales). Elle est également aggravée par une pente forte et un sol nu. Or, là encore les restrictions réglementaires d'épandage (interdisant l'épandage dans les conditions précédemment cités) et de choix des terrains

aptes à l'épandage permettent **d'écarter et de négliger, dans des conditions normales, ce milieu vecteur.**

II.3.2.3 Les animaux

Les animaux peuvent être contaminés par l'ingestion de fourrage ou d'ensilage, provenant d'une parcelle où a eu lieu un épandage, ou en pâturant sur des prairies contaminées (cas de transmission directe à l'animal). Cependant, dans le cas des porcs et des volailles, la quasi totalité des animaux sont élevés de manière industrielle sans contact avec le milieu extérieur, dont les terrains d'épandage. Ainsi, le risque de contamination animale par la pâture pour ces deux espèces est à écarter. **Seule la contamination des bovins, ovins et caprins ainsi que des animaux sauvages (sangliers, chevreuils,...) est envisageable** et peut susciter un intérêt, sachant qu'ils peuvent introduire les pathogènes dans la chaîne alimentaire humaine ou constituer un réservoir. Enfin pour les parasites présentant un cycle évolutif dixène ou trixène (absent de la sélection des germes d'intérêt majeur), les animaux sauvages peuvent être un hôte intermédiaire alors que l'homme sera l'hôte définitif.

Remarque : Parmi les agents biologiques retenus, aucun ne peut se retrouver dans les tissus animal (car portage et action pathogène surtout au niveau du système digestif) et la contamination de produits carnés issus des abattoirs de porcs et de volailles ne peut se faire que par un contact avec les matières fécales ou suite à l'incision d'organes "réservoir" (amygdales notamment).

II.4 Voies d'exposition retenues

L'examen des différentes voies de contamination raisonnablement envisageables (résumées et exposées schématiquement en **Annexe 16**) et leur confrontation aux pratiques normales et réglementaires d'épandage et d'hygiène, aux caractéristiques intrinsèques et au devenir des organismes d'intérêt dans le milieu extérieur, a permis de sélectionner et de classer par ordre de probabilité décroissante les voies de contamination humaine.

Ce classement est le suivant :

- L'ingestion directe de boues par les opérateurs responsables de l'épandage (qui est la seule façon par laquelle les travailleurs pourraient se contaminer avec les boues ou les sols amendés [49]),
- L'ingestion de végétaux ramassés à proximité ou dans un champs ayant subi un épandage,
- L'ingestion de sol par un enfant jouant dans un champs après un épandage.

Ces deux dernières voies semblent les plus discutables et les moins réalistes.

- En ce qui concerne les voies de contamination des animaux, seule l'ingestion de végétaux et de sol par des ruminants ou des animaux sauvages qui paissent dans un champs ou des cultures contaminés, a été retenu.

A ces quatre modes de contamination correspondent quatre scénarios d'exposition servant à évaluer le risque. Ces quatre scénarios ne seront pas détaillés, mais là encore, on peut noter la présence d'incertitudes sur les hypothèses de travail, telles que la quantité de boues ingérées lors d'un épandage, le nombre d'exposition pour un enfant, quantité de boues sur les feuilles de pissenlits...

Il a été délibérément choisi de ne pas achever l'étape de caractérisation du risque pour chaque scénario envisagé. En effet, les résultats étaient impossibles à présenter faute de données, ou inutilisables et sans signification, car entachés par trop d'erreurs ou d'hypothèses grossières.

Partie 3 : Bilan sur l'étude de faisabilité et propositions de gestion du risque

I. Bilan sur l'étude

Il n'est pas toujours nécessaire de mener une évaluation quantitative du risque pour pouvoir gérer le risque. Cependant sa réalisation devient importante si l'on désire comparer différents amendements destinés à l'épandage. Or, **en l'état actuel des connaissances, il est impossible de faire une étude qui soit suffisamment réaliste** (manque de données sur les concentrations en pathogènes dans les boues, sur l'exposition, ...) **pour permettre la quantification du risque biologique lié à l'épandage des boues d'épuration d'abattoirs de porcs et de volailles**. En effet, des besoins en terme de connaissance ont été identifiés et sont classables par ordre décroissant de priorité et par catégorie. De plus, cette étude permet de cibler les installations à étudier en priorité.

I.1 Les installations à étudier en priorité

Au vu des caractéristiques fonctionnelles des abattoirs de porcs et de volailles, il avait été choisi de mener une ERS pour les petites et grosses structures. Les carences en informations, précédemment évoquées, n'ont pas permis de quantifier le risque lié à l'épandage des boues. Cependant, en intégrant à ces données structurelles et fonctionnelles, celles relatives à l'identification et à la caractérisation des dangers, **il a été possible de cibler les structures et les conditions les plus problématiques à étudier en priorité**.

I.1.1 Les gros abattoirs de porcs et de volailles

Si l'importance de l'abattage et des quantités de boues produites ont souligné l'intérêt à porter aux **grosses structures d'abattage, la complexité et l'efficacité de leur filière de traitement des boues, leur grande surveillance par les services vétérinaires et la gestion de leur épandage** permettent **de minimiser et maîtriser le risque biologique lié à l'épandage des boues d'épuration**.

Ainsi, la filière la plus représentative des gros abattoirs (porcs et volailles confondus) est sans aucun doute celle aboutissant à **la production de boues chaulées** (avec au minimum une production de boues pâteuses pour des régions où les caractéristiques du sol (terrain à pH alcalin) ne permettent pas un amendement basique). De plus, des filières encore plus complexes (intégrant une digestion anaérobie et un séchage thermique) ne cessent de se développer pour permettre un gain supplémentaire en siccité et donc en volume de stockage ainsi qu'une diminution du pouvoir fermentescible des boues.

Or cette logique n'est pas sans conséquence sur l'hygiénisation des boues, même si elle n'est pas un objectif explicite. Ainsi, la révision de la Directive du Conseil 86/278/CEE relative à l'utilisation de boues d'épuration en agriculture classe les traitements des boues en trois catégories en fonction de leur efficacité au regard des pathogènes. Selon celle-ci, **le chaulage, la digestion anaérobie thermophile et le séchage thermique** sont des traitements poussés, considérés comme hygiénisants et conduisant à des boues de type A.

De même, la réglementation américaine (EPA 40 CFR 503, du 1^{er} juillet 1993) classe les boues d'épuration en deux catégories, dont la classe A qui comprend les boues de haute qualité sanitaire,

qui peuvent être épandues sur tout type de culture sans restriction. Parmi les procédés entrant dans cette classe on trouve **le séchage thermique**. La digestion anaérobie et surtout **la stabilisation à la chaux** sont quant à elles considérées comme “ des procédés réduisant significativement les germes pathogènes (PSRP) ”. Ces procédés doivent être appliqués aux boues de classe B avant épandage. Des détails sur les procédés considérés par ces deux réglementations sont exposés en **Annexe 17**. Ainsi, les études et les réglementations qui ont été évoquées précédemment dans les **Annexes 15 et 17** considèrent la digestion anaérobie, le séchage thermique et **la stabilisation à la chaux** (traitement le plus représentatif dans notre étude) **comme des traitements efficaces pour la réduction des pathogènes**. De plus, quelle que soit la taille de l'abattoir et le type de filière de traitement des boues mise en œuvre, des contraintes réglementaires en terme de durée de stockage vont imposer à ces installations des **stockages de longue durée** des boues. Or, là encore cette étape va participer à la réduction des pathogènes même si son efficacité est jugée comme moyenne et limitée [46], [47].

Enfin, si les dangers biologiques semblent réduits, le respect des contraintes réglementaires d'épandage, la mise en place et le contrôle des plans et cahiers d'épandage par les services vétérinaires, la pratique d'un épandage majoritaire sur des cultures céréalières ou sur pâturage en automne ou en début d'hiver, limitent encore ce risque en diminuant l'exposition animale et humaine.

Autrement dit, **la grande majorité des grosses structures d'abattage de porcs et de volailles** (procédant à **une stabilisation à la chaux et au respect des bonnes pratiques d'épandage**) **ne semblent pas générer un risque biologique important par l'épandage de leurs boues d'épuration, ou tout du moins ils permettent sa maîtrise**. Cette affirmation est renforcée par le développement de l'industrialisation de ces gros établissements qui privilégient des filières de traitements des boues de plus en plus complexes (digestion anaérobie ou séchage thermique avec même une incinération finale des boues séchées). **Seuls les abattoirs procédant à un épandage de boues pâteuses** (sans considération des pratiques d'épandage) **pourront être considérés comme nécessitant une évaluation des risques**.

1.1.2 Les petits abattoirs de porcs et de volailles

Compte tenu de **leur nombre apparemment important pour la filière aviaire**, du **manque de suivi par la DDSV** (au niveau du traitement et de la gestion des boues ainsi que de leur épandage), **de l'absence ou de la faiblesse de leur traitement des boues et de l'absence de plans d'épandage**, **les petits abattoirs incarnent les risques de contamination biologique les plus importants**. En effet, cette étude a dénombré un nombre réduit d'abattoirs de petite tailles autonomes et spécialisés dans l'abattage de porcs (environ 5 établissements). Par contre, en ce qui concerne les abattoirs de volailles, leur nombre semble beaucoup plus important. De plus, ces établissements procèdent le plus souvent à des épandages de boues liquides, voir même d'effluents bruts ou prétraités, qui représentent alors les cas les plus probables de contamination par des agents pathogènes. Enfin, des lacunes sur le contrôle des épandages ont été relevées (même si pour les ICPE soumises à déclaration) les contraintes réglementaires sont moindres, il subsiste entre autres celles sur le choix des parcelles, du type de culture, des rotations parcellaires, des surfaces actives, des doses, ...). Elles participent à l'augmentation du risque en agissant sur l'exposition animale et humaine. En effet, les services vétérinaires assurant le rôle d'inspecteur des installations classées pour les établissements de la filière viande, se cantonnent le plus souvent, faute de moyens et de temps,

aux contrôles des ICPE soumises à autorisation. Ils délaissent alors les plus petits abattoirs qui sont généralement des ICPE soumises à déclaration.

Enfin, des conditions climatiques, hydrogéologiques ou topographiques défavorables sont des facteurs aggravants qui pourraient augmenter ce risque en contaminant les eaux de surface ou souterraines et qui pourraient donc exposer d'avantage les populations animales et humaines.

I.2 Les besoins identifiés et hiérarchisés

1.2.1 L'état des lieux des installations

Cette étude a permis d'acquérir une vision globale des pratiques en terme de traitement et de devenir des boues d'abattoirs autonomes spécialisés dans le porc et la volaille, ainsi que sur les pratiques d'épandage des boues générées. Cependant, elle ne permet pas d'accéder avec précision à des données fondamentales pour mener à bien l'objectif qui avait été initialement fixé, telles que :

- le nombre précis d'unités autonomes et spécifiques,
- leur répartition par taille, par localisation géographique et par filière de traitement,
- le gisement de boues qui est réellement produit,
- la répartition de ces boues en fonction du type de surface utile réservée à l'épandage (c'est à dire les volumes épandus sur prairies, sur céréales, ..., à l'échelle française).

Il demeure donc fondamental qu'une étude soit menée en collaboration avec les différents acteurs qui ont un rôle dans ce secteur d'activité, c'est à dire le MAAPAR, le MEDD, les Agences de l'eau, les Chambres d'Agricultures, les Directions Départementales des Services Vétérinaires et les syndicats professionnels de ce secteur d'activité qui ont attrait à l'élevage, l'abattage ou l'épandage de boues (FNEAP, SNIV, FIA, SYPREA, FNADE, ITP, INTERBEV, OFIVAL).

1.2.2 L'aspect sanitaire

Prévalence chez l'animal

On ne dispose que d'un nombre réduit de données en terme de prévalence et en particulier de portage sain chez les porcs et les volailles français. Or, l'obtention d'informations beaucoup plus précises permettraient d'apprécier la situation sanitaire du cheptel en estimant la répartition spatiale et temporelle de ce portage. On pourrait alors déterminer précisément la représentativité de chaque agent biologique suspecté comme d'intérêt. Cela assurerait également un moyen de prévention contre la dissémination d'agents non asymptomatiques chez les porcs et les volailles (cas d'absence de portage sain) lors de l'abattage, en décalant par exemple les dates d'abattage après la fin des périodes d'épidémie ou d'excrétion.

Pour cela, la France dispose de structures et de services de l'Etat compétents en la matière et déjà en place, les Ecoles Nationales Vétérinaires et les services vétérinaires déconcentrés.

Incidence humaine et données toxicologiques de référence

Des lacunes sont également relevables en matière de prévalence humaine et de liens établis entre des souches bactériennes d'origine animale et des maladies déclarées chez l'homme. Cependant, la mise en place d'études épidémiologiques qui s'attacheraient à vérifier ce lien, semble peu réaliste compte tenu des interactions avec d'autres sources de contamination biologique, notamment alimentaires. Par contre, peu d'agents biologiques pathogènes ayant été retenus bénéficient de courbes dose-

réponse ou de DMI. Il serait donc nécessaire que des laboratoires agréés mènent des recherches dans ce sens, même si leur coût reste élevé et que l'utilisation de ces données d'origine animale demeure discutable (rappel en **Annexe 12**).

1.2.3 L'aspect environnemental

Quantification des pathogènes dans les boues et les effluents

Si le recueil de données sur le portage animal est indispensable pour l'identification des agents biologiques pathogènes d'intérêt, il ne suffit pas pour apprécier l'impact biologique sur les effluents et les boues d'épuration d'abattoirs. En effet, des variables telles que les taux d'excrétion, les quantités abattues, les volumes d'eau utilisés, les accidents d'abattage (comme l'incision de l'estomac, des amygdales, du caecum,...) vont également interférer. Ainsi, il est indispensable de procéder à des mesures bactériologiques et parasitaires au niveau des effluents et des boues produites au sein d'abattoirs de porcs et de volailles. Les abattoirs choisis seront représentatifs du parc français et intégreront donc le facteur taille (en terme de volume d'abattage). Les teneurs en agents biologiques des effluents sont indispensables si on veut tenir compte des petites structures procédant encore à un épandage direct. De plus, les mesures mises en œuvre devront être représentatives temporellement (échantillonnage sur plusieurs heures voir une journée de travail) et quantitativement (en suivant les protocoles normés existants). Si *Campylobacter jejuni* et *coli*, *Clostridium perfringens*, *Salmonella enteritidis* et *typhimurium*, *Cryptosporidium parvum* et *Listeria monocytogenes* disposent d'une méthode normée de mesure, par contre, des bactéries comme *Yersinia enterocolitica*, *Clostridium botulinum* et *E. coli enterohémorragique* nécessiteront l'établissement d'une méthodologie analytique des prélèvements de boues. Enfin, l'accès à des taux de viabilité des agents biologiques (extraits des effluents et se retrouvant dans les boues) à partir des campagnes de mesures entreprises semble difficile et ce paramètre semble devoir rester une incertitude. Il est à noter qu'actuellement l'Agence de l'eau Seine Normandie et des syndicats professionnels dont la FNEAP réalisent des mesures sur des agents biologiques (noms étant non communiqués) au niveau d'abattoirs mixtes et donc non spécifiques des porcs et des volailles.

Informations sur l'exposition

Des études pourraient être envisagées pour obtenir des informations sur les populations exposées. Ainsi, on pourrait enquêter sur le port ou non du masque, des gants ou des combinaisons par les opérateurs des épandages, sur la taille et les habitudes de la population française riveraine de champs d'épandage, sur la part de ramasseurs de pissenlits ou d'autres végétaux, ...

Résistance dans l'environnement

Il est important de connaître l'évolution des populations d'agents biologiques pathogènes au cours du temps dans les boues et au niveau du sol. En effet, leur persistance et leur compatibilité interspèce peuvent occasionner un entretien du portage animal, augmentant la dissémination des agents biologiques et le risque de contamination de l'homme par son environnement. Or, si des études ont été effectuées, celles-ci ont été menées dans des conditions opératoires souvent très différentes des conditions environnementales (notamment de pH et de température) classiquement rencontrées. Ainsi, des durées de survie ainsi que des taux d'inactivation dans les boues (liquides, pâteuses voir chaulées) et sur des médias tel que le sol (en surface ou à quelques centimètres de profond) et les végétaux seraient à déterminer. Même si de nombreux facteurs physico-chimiques et

climatiques interagissent sur ces valeurs, elles permettront de redéfinir ou d'affiner les délais de remise en pâture des ruminants ou de ramassage des végétaux.

Abattements biologiques par les filières de traitement

Les mesures mises en œuvre pour déterminer les concentrations en agents biologiques pathogènes dans les effluents et les boues seraient l'occasion de déterminer des taux de réduction pour les filières de traitement représentatives des abattoirs de porcs et de volailles. Ce paramètre n'a pas été jugé comme d'une priorité majeure compte tenu du fait que pour des taux abattements très différents les concentrations résiduelles restent toujours du même ordre de grandeur en unité Log. De plus, l'imprécision résultant des mesures couvre largement sa prise en compte. Cependant, ces taux sont facilement accessibles et déterminables dès lors que les mesures sont établies.

Connaissance du bruit de fond du milieu récepteur

L'intégration du " bruit de fond biologique " d'un sol (où a lieu de l'épandage) peut être à considérer si l'apport en agents biologiques augmente la teneur déjà présente dans le milieu. Dans le cas contraire, la compétition avec les autres agents biologiques autochtones et les conditions de stress environnemental tendent à réduire la flore pathogène véhiculée par les boues. De plus, les bonnes pratiques d'épandage excluant d'épandre le même type de boue sur les mêmes parcelles, en préconisant ainsi des rotations des terrains d'épandage, tendent à favoriser ce phénomène de compétition et à réduire alors la prédominance des pathogènes vis à vis des agents biologiques environnementaux. Le manque de surface utile peut être dans ce cas un facteur aggravant.

II. Propositions de gestion du risque

Des propositions complémentaires aux besoins identifiés précédemment, pour tenter de maîtriser le risque de contamination humaine par des agents pathogènes, lié aux boues d'abattoirs de porcs et de volailles, peuvent être émises.

II.1 Mesures au niveau des élevages

La réduction du portage animal est le premier levier sur lequel on peut agir. Pour cela, il est indispensable de soutenir des études sur le portage sain au niveau des élevages pour apprécier la situation sanitaire du cheptel. Des actions sur la qualité et sur la prise de la nourriture animale, le nettoyage des abreuvoirs et l'élimination rapide des déjections sont également envisageables pour éviter la contamination des animaux de l'élevage par une alimentation souillée (données ITP, AFSSA, 2003). De plus, les délais de remise en pâture des ruminants (réglementairement de 6 semaines) pourraient être allongés, compte tenu des données de résistance de certains pathogènes dans l'environnement (telles que *Salmonella spp.*). Enfin, la promotion de l'épandage sur des champs céréaliers ou sur des cultures de longue durée, ainsi que l'épandage en automne ou en début d'hiver, une fois que les animaux ont quitté les pâturages, peuvent être une autre alternative pour réduire la contamination animale.

II.2 Information des populations

Quelque soit le type d'abattoir ou les pratiques d'épandage, on peut limiter le risque de contamination humaine en communiquant et en informant la population exposée. Pour cela, on pourrait éventuellement identifier les parcelles où il y a eu un épandage avec des pancartes en bout de champs et des écriteaux placardés en mairie, tout en rappelant là encore, les règles de bon sens et les mesures d'hygiène corporelle et alimentaire.

II.3 Mesures sur l'exposition

On a montré que la contamination des eaux de surface et souterraines était peu probable (sauf cas extrêmes et cas de petits abattoirs non contrôlés) et que le risque lié à l'aérodispersion était limité et contrôlable (épandage lors de vents modérés, ... , avec des rampes d'aspersion dotées de buses réglables). Il subsiste alors le risque **par ingestion directe de boues, de végétaux ou de certains produits souillés, consommés crus ou insuffisamment cuits** :

- **Ingestion directe de boues :**

Cette voie de contamination concerne exclusivement les opérateurs de l'épandage. Le respect des mesures élémentaires d'hygiène et des bonnes pratiques de travail (port de gants, de vêtements réservés à cet usage, voir d'un masque pour éviter l'inhalation de poussières dans le cas de boues séchées) doivent limiter significativement leur exposition.

- **Ingestion de produits souillés**

Si l'épandage sur des champs céréaliers semble déjà bien représenté dans les plans d'épandage des grands abattoirs, son développement pourrait conduire à la réduction de l'épandage en pâturage et donc à réduire le risque de contamination de végétaux ou autres denrées naturelles. Bien entendu, l'incitation du public à bien laver ces produits est complémentaire.

Remarque :

Il est à noter qu'aucune **mesure au niveau des abattoirs** n'a été proposée. En effet, les abattoirs qui ont été identifiés comme susceptibles de causer une contamination biologique, sont les petites installations qui ne pourraient guère se doter, faute de moyens financiers, de structures de traitement des boues et des effluents suffisamment performantes pour maîtriser la charge en organismes pathogènes.

Conclusion

Cette étude n'a pu déboucher sur une évaluation quantitative du risque. Cependant, elle a permis :

- de recenser les données disponibles et manquantes dont l'acquisition était indispensable pour quantifier le risque généré par l'épandage des boues d'abattoirs,
- de sélectionner les agents biologiques pathogènes d'intérêt,
- d'émettre des priorités en terme de recherche et d'étude pour l'obtention de données complémentaires,
- d'identifier les établissements et les pratiques d'épandage les plus problématiques,
- d'avancer des mesures de maîtrise des risques inhérents aux boues et à leur épandage.

Compte tenu des informations acquises, il semble peu opportun d'imposer systématiquement des mesures draconiennes de traitement et de valorisation des boues aux abattoirs de porcs et de volailles (telles que le recours à l'incinération référencée en Suisse notamment) pour éliminer tout risque de contamination biologique. En effet, des mesures extrêmes engendreraient d'une part, un surcoût que la majorité des abattoirs ne pourrait assumer, d'autre part, cela déboucherait sur l'abandon d'un déchet présentant des intérêts agronomiques et financiers. De plus, de telles contraintes paraîtraient disproportionnées par rapport aux risques biologiques que les boues semblent engendrer. Enfin, quel que soit le type d'abattoir (petites ou grosses structures), on peut agir sur le traitement des boues et/ou sur les pratiques d'épandage pour les maîtriser, ainsi que sur la réduction de l'exposition (signalement des parcelles, délais de remise en pâture, ...).

Le traitement des boues

Concernant le traitement des boues, les gros abattoirs porcins et aviaires semblent déjà dotés de procédés efficaces (par chaulage ou séchage thermique) au vue des réglementations européenne et américaine sur l'abattement des pathogènes dans les boues urbaines. Des campagnes de mesures et une évaluation quantitative du risque se focalisant sur les germes d'intérêt identifiés dans cette étude permettraient pourtant de juger de cette efficacité et d'affiner ce jugement. A l'inverse, ce sont surtout les abattoirs produisant des boues pâteuses ou liquides, voir même ayant encore recours à l'épandage direct d'effluents bruts ou prétraités qui seront les plus problématiques. En effet, l'absence ou l'inefficacité des traitements mis en œuvre pour réduire significativement les concentrations en pathogènes des effluents et des boues, laissent entrevoir des risques de contamination pour l'homme suite à leur épandage. Ces abattoirs sont essentiellement des abattoirs publics aviaires de petites ou moyennes capacités dont les moyens financiers demeurent souvent limités, les restreignant alors dans leur investissement pour le traitement et la valorisation de leurs sous-produits d'épuration.

Les pratiques d'épandage

Pour tout type d'abattoirs et de boues qu'ils génèrent, on peut également agir sur l'épandage. En effet, comme il a été présenté dans cette étude, le respect des contraintes réglementaires d'épandage (contraintes géologiques, hydrogéologiques, climatiques, agronomiques, culturelles et techniques) couplés à des mesures d'hygiène et de bon sens des opérateurs procédant à celui-ci, participe à la maîtrise du risque. Ce travail de mise en place et de suivi des épandages est largement généralisé pour les grosses structures, qui allient alors les deux éléments fondamentaux de gestion du risque (traitements efficaces et épandage rigoureux, conforme à la réglementation). Les manques de transparence, de données de conformité réglementaire, de contrôle et de suivi des épandages qui

caractérisent les petites structures, sont donc un point à améliorer qui permettra d'agir efficacement sur la réduction du risque biologique. Là encore une évaluation quantitative permettrait de valider les procédés et les pratiques mises en œuvre et d'aider le gestionnaire du risque.

Les abattoirs connectés aux STEP urbaines

Ce travail a également montré que les abattoirs de porcs et de volailles étaient majoritairement connectés à des STEP urbaines. Pour matérialiser l'influence des effluents d'abattoirs sur les boues urbaines, il serait nécessaire d'étudier l'importance du volume des effluents d'abattoirs, par rapport à celui des eaux usées d'origine urbaine qui sont acheminées et traitées sur l'installation considérée. Il faudrait également tenir compte des dispositifs de traitements des effluents et des boues ainsi que de la taille de la station. Dans le cas d'une STEP urbaine de taille raisonnable (supérieure à 10 000 équivalents habitants), on peut supposer qu'elle bénéficie d'une filière de traitement des boues suffisamment poussée (chaulage, digestion anaérobie, séchage thermique) pour assurer une réduction significative des pathogènes. Quoiqu'il en soit, il sera toujours nécessaire d'apprécier au cas par cas en tenant compte des spécificités de chaque STEP (traitements effectifs, volumes reçus d'effluents d'abattoirs, ...) et de leur plan d'épandage (conformité réglementaire en particulier).

La problématique des sous-produits de traitement et des déjections animales

- **Au niveau des abattoirs de porcs et de volailles**

Cette étude même si elle est focalisée sur les boues d'épuration, a également permis d'identifier un risque biologique lié au devenir des sous-produits d'épuration et des déchets d'abattage.

En effet, un grand nombre des abattoirs étudiés procèdent à des épandages agricoles des refus de dégrillage (après mélange avec du fumier, de la paille ou les boues d'épuration), des fumiers, des fientes, des pailles, du contenu des fosses à lisier et des matières stercoraires.

Ces informations ont largement été corroborées par deux enquêtes menées par la FNEAP en 1997 [2] et l'ADIV et l'OFIVAL en 2000 [53]. Or ces composés ne bénéficient actuellement d'aucun traitement avant leur valorisation alors que la présence de pathogènes est beaucoup plus probable que pour les boues d'épuration traitées. De plus, des pratiques d'épandage sur des terrains maraîchers ont également été identifiées, augmentant d'avantage le risque de contamination pour l'homme. Cependant le règlement européen n°1774/2002 impose (échéance : 31 décembre 2003) aux abattoirs de procéder aux traitements des sous-produits d'épuration et des déchets d'abattage de porcs et de volailles avant épandage (ces déchets entrant dans la catégorie 2 de cette réglementation) par stérilisation ou autoclavage, ou d'avoir recours à leur incinération. Pour ce qui est des fientes (volume recueilli très faible en abattoirs de volailles), des fumiers et du lisier de porc, des amendements au règlement européen sont actuellement émis au niveau français pour définir ces déchets et leur devenir. Il en ressort que leur épandage (sans aucun traitement) a de fortes chances d'être toléré (données DDSV Côtes d'Armor).

Il semble donc que le risque lié à l'épandage des déchets de deuxième catégorie soit réduit et maîtrisé à terme par les mesures imposées par ce règlement européen et que subsiste seulement le risque lié à l'épandage des lisiers et des fumiers non traités.

- **Au niveau des élevages**

Le risque biologique lié à l'épandage des lisiers, des fientes et des fumiers reste entier au niveau des élevages.

Il est caractérisé par :

- **la principale source de pathogènes** (les déjections animales),
- **l'importance du cheptel français concerné** (le Recensement Général Agricole de 2000 a estimé le nombre de porcs et de volailles à respectivement 14 870 et 290,6 millions de têtes),
- **le volume important de déjections récupérées** (la grande majorité est récupérée sous forme de lisier pour les porcs (à hauteur de 80 %)). Pour les autres formes, elles se répartissent de la manière suivante :

Données de 2000 (source [54])	Volailles		Porcs	
	Matière brute (en millier de tonne / an)	Matière sèche (en millier de tonne / an)	Matière brute (en millier de tonne / an)	Matière sèche (en millier de tonne / an)
Fumier	2 970	1 320	6 080	1 520
Lisier et Fientes	6 020	60	18 510	1 110
Total	8 990	1 380	24 590	2 630

Tableau n°16 : Volume des déjections produites en élevage

- **le faible pourcentage de traitement de ces déjections animales [54]** : en particulier les lisiers dont les taux de traitement restent modestes au sein des exploitations agricoles. De plus, si cette pratique de traitement est promue et qu'elle devrait donc se développer, il est estimé qu'elle ne traitera au mieux que **5 à 10 millions de tonnes soit 1,5 à 3 % des flux annuels produits** dans les années à venir [54].

Il semble donc important de se focaliser également à l'amont des abattoirs, c'est à dire au niveau des élevages, si l'on veut véritablement réduire les risques biologiques liés à la pratique d'épandage (hors boues d'épuration).

Antibiorésistance

Ce mémoire n'a pas pris en compte l'antibiorésistance des flores bactériennes porcines et aviaires. Une étude spécifique pourrait alors être entreprise. La sélection des agents biologiques d'intérêt serait différente de celle de notre étude puisqu'elle incorporerait des bactéries telles que *Aeromonas spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, Enterocoques, ... (bactéries commensales des porcs et des volailles ou environnementales) et associerait là encore *Salmonella spp.* Les résistances testées porteraient sur les antibiotiques vétérinaires couramment utilisés comme les tétracyclines, les sulfamides, les streptomycines, les sulphonamides, les céphalosporines, ...

En effet, si les porcs et les volailles peuvent être des porteurs de pathogènes, ils sont également susceptibles de véhiculer de nombreuses bactéries résistantes aux antibiotiques. Leur présence s'explique alors par l'usage d'antibiotiques au niveau des élevages pour combattre les maladies infectieuses d'origine bactérienne. Ainsi, des milieux très contaminés en agents biologiques comme le tube digestif des porcs et des volailles, constituent un réservoir potentiel de bactéries sur lesquelles des antibiotiques pourront occasionner la sélection et la persistance de nouveaux mécanismes de résistance [4].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, Direction des Politiques Economiques et Internationale, SCEES, Panorama des industries agroalimentaires, édition 2002
- [2] FNEAP-ADEME, enquête effectuée sur 10 abattoirs, 1997
- [3] PEIFFER G., Impact environnemental des effluents d'abattoirs : Actualités techniques et réglementaires, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 2002
- [4] BRUGERE H., Bactéries pathogènes dans les effluents d'abattoir : Aide à l'évaluation du risque pour la santé publique, UMR 960 de microbiologie INRA - ENV de Toulouse, 2001
- [5] SERVENT H., Microbiologie des rejets d'abattoirs et établissements d'équarrissage, ISIGE - Agence de l'eau Seine-Normandie, tome 1, 2002
- [6] Agence de l'eau Loire Bretagne, Bilan de la consommation d'eau et de la production d'effluents dans les industries de transformation de produits d'origine animale, période 1984-2000, 2001
- [7] DEGLIN S., Epandage des boues de stations d'épuration d'abattoirs de ruminants-Quel risque microbiologique ?, ENSP-INERIS, 2002
- [8] SACHON G., Les eaux résiduelles des abattoirs de bétail : Gestion et traitement, Centre national du Machinisme Agricole, du Génie rural, des Eaux et des Forêts
- [9] LEBOURG JF., Synthèse sur le risque sanitaire lié à l'épandage d'un mélange d'effluent urbain et d'abattoir de volailles, mémoire d'Ingénieur du Génie Sanitaire, Ecole Nationale de la Santé Publique, 1995
- [10] NESBAKKEN T, ECKNER E., HOIDAL HK., ROTTERUD OJ., Occurrence of *Yersinia enterocolitica* and *Campylobacter spp* in slaughter pigs and consequences for meat inspection, slaughtering and dressing procedures, International Journal of Food Microbiology 80, pp 231-240, 2002
- [11] Direction Générale de la Santé de la Population et de la Santé publique du Canada, Bureau de la Sécurité des Laboratoires, Fiches techniques santé/sécurité, 2003
- [12] WEIJTENS MJ., BIJKER PG., VAN DER PLAS J., URLINGS HA, BIESHEUVEL MH., Prévalence of *Campylobacter* in pigs during fattening : an epidemiological study, Departement

of the science Food of Animal Origin, Faculty of veterinary Medecine, Utrech University, The Netherlands, 1993

[13] MEHMET A., AYSEGUL E., SERDAR DIKER K., Motile *Aeromonads* in the feces and carcasses of broiler chickens in Turkey, Journal of food Protection, No 1, p113-115, 1998

[14] DENIS M., REFREGIER-PETTON J., LAISNEY M., ERMEL G., SALVAT G., *Campylobacter* contamination in French chicken production from farm to consumers. Use of a PCR assay for detection and identification of *Campylobacter jejuni* et *Camp. coli*, Journal of Applied Microbiology 91, pp 255-267, 2001

[15] HASS C., Quantitative microbial risk assesment, John Wiley & Sons, Inc., 1999

[16] KOENRAAD P.M.F.J, HAZELEGER W.C., VAN DER LAAN T., BEUMER R.R., ROMBOOTS F.M., Survey of *Campylobacter spp* in sewage plants in The Netherlands, Journal of Food Microbiology 11, pp 65- 73, 1994

[17] KUCZYNSKA E. et al, Method of detection and enumeration of *Cryptosporidium parvum* oocysts in feces, manures and soils, Appl. Environ.Microbiol. vol 65, N°7, 2820-2828, july.1999

[18] WRAY C. et al, Survival and spread of pathogenic bacteria of veterinary importance within the environment, Commonwealth Bureau of Animal Health, The veterinary bulletin, vol 45, N°8, pp 543-550, 1975

[19] NKINS M., *Cryptosporidium parvum* inactivation in three soil types at various temperatures and water potentials, Soil Biology and Biochemistry, N°34, pp 1101-1109, 2002

[20] Ecole Nationale Vétérinaire de France, Maladies réputées contagieuses et maladies à déclarations obligatoire, Documents à l'usage des étudiants vétérinaires, mise à jour juillet 2001

[21] Ecole Nationale Vétérinaire de France, Les zoonoses infectieuses, Document à l'usage des étudiants vétérinaires, mise à jour septembre 2001

[22] Laboratoire de parasitologie de la faculté de pharmacie de Lille, Cours de parasitologie, Document à l'usage des étudiants en pharmacie, mise à jours 2002

[23] Collège de bactériologie et de virologie de Lyon, Cours de bactériologie, Document à l'usage des étudiants en médecine, 2001

[24] CARLIER JF. et al., Le botulisme en France à la fin du deuxième millénaire, Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire, N°9, 2001

[25] HAEGHEBAERT S. et al, Surveillance du syndrome hémolytique et urémique chez les enfants de moins de 15 ans en France en 1999, Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire, N°37 , 2001

- [26] Harry C. et al, Topics in microbial risk assessment : Dynamic flow tree process, Risk Analysis, N°3, pp 309-326, 1998
- [27] Institut Technique du Porc, Rapport sur la qualité hygiénique en 2001 des abattoirs français, édition 2001
- [28] JAMEISON R.C. et al., Movement and persistence of fecal bacteria in agriculture soils and subsurface drainage water : A review, Canadian Biosystem engineering, vol 44, p 1.1 à 1.9, 2002
- [29] OFFICE FEDERAL DE LA SANTE PUBLIQUE, Groupe de travail sur les zoonoses en Suisse, Rapport 1997/1998 sur les zoonoses, édition 1999
- [30] ROCOURT J., Listeria/Listériose : des réponses et des questions, Centre de Recherche et d'Information Nutritionnelles, Chloé-doc n°53, 1999
- [31] BOUVET P. et al, Données de surveillance 1999 du centre national de référence des Salmonella et Shigella, Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire, N°12 , 2001
- [32] HAERGHEBAERT S. et al., Les toxi-infections alimentaires en France en 1997, Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire, N°41 , 1998
- [33] ADEME, Les agents biologiques d'intérêt sanitaire des boues d'épuration urbaines, 2000
- [34] WANG G., Fate of Enterohemorrhagic E.coli O157 H:7, Appl. Environ.Microbiol, Vol 62, N°7, July 1996
- [35] LECLER H. et OGER C., Les eaux usées des abattoirs et leur importance épidémiologique, Revue Epidém, Méd soc et Santé publ., Vol 13, N°7-8, pp 429-444, 1975
- [36] DUCRAY F., HUYARD A., SCHWARTZBROD J., HENRY A.L., Impact des filières de traitement des boues sur l'hygiénisation des boues, ANJOU RECHERCHE, CIRSEE, Faculté de pharmacie de Nancy, 2000
- [37] STRAUCH D., Survival of pathogenic micro-organisms and parasite in excreta, manure and sewage sludge, Rev. Sci. Tech. Off int. Epiz., vol 10, pp 813-846, 1991
- [38] FRANSEN N. G., VAN DEN ELZEN A. M. G., URLINGS B. A. P., BIJKER P. G. H., Pathogenic micro-organisms in slaughterhouse sludge : a survey, International Journal of Food Microbiology 33, pp 245-256, 1996
- [39] DE ZUTTER L., VAN HOOFF J., Occurrence of Salmonella in a chemical wastewater treatment Plant, Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B, N°179, pp440-448, 1984
- [40] JOHNSTON G. et al, Salmonella in sewage effluent and the relationship to animal and human disease in the north of Scotland, Vet. Rec., N°119, pp 201-203, 1986

- [41] SMITH M.G., GRAU F.H., Salmonellae in abattoir effluents, Australian Veterinary Journal, N°50, pp 410-412, septembre 1974
- [42] SOGAARD H., BREST NIELSEN B., The occurrence of Salmonella in waste water from Danish Slaughterhouses Nord, Vet. Med., N°31, pp353-359, 1979
- [43] LINKLATER K.A., MARGARET M. GRAHAM, SHARP J.C.M., Salmonellae in sewage sludge and abattoir effluent in South-east scotland, J. Hyg., Camb., N°94, pp 301-307, 1985
- [44] ALTROCK A., SCHUTTE A., HILDEBRANDT G., Unstersuchungsergebnisse aus Deutschland zu dem EU-Projekt, Salmonella in Pork, Berl. Munch. Tierarztl. Wschr., N°112, pp225-233, 1999
- [45] AKAN M., EYIGOR A., SERDAR DIKER K., Motile Aeromonads in the feces and carcass of broiler chickens in Turkey, J. Food Prot, vol 61, N°1, pp 113-115, 1999
- [46] ADEME, Les boues d'épuration municipale et leur utilisation en agriculture, Dossier documentaire, édition 2001
- [47] ADEME-ENSP, Les germes pathogènes dans les boues résiduelles des stations d'épuration urbaines, édition août 1994
- [48] RENOUF F., Etude bactériologique des effluents des industries agro-alimentaires du littoral normand, Agence de l'eau Seine-Normandie, édition 1995
- [49] PAYMENT P., Risques d'exposition des travailleurs à des virus entériques suite à l'épandage de boues provenant de stations d'épuration d'eaux usées municipales, Direction de l'Environnement du Ministère des Forêts du Québec, janvier 1993
- [50] CORRY J.E.L., ALLEN V.M., HUDSON W.R., BRESLIN M.F., DAVIES R.H., Sources of Salmonella on broiler carcasses during transportation and processing: modes of contamination and methods of control, Journal of Applied Microbiology, N°92, pp 424-432, 2002
- [51] VALENCIANO M., Définition des priorités dans le domaine des zoonoses non alimentaires 2000-2001, Institut de veille Sanitaire, édition 2001
- [52] Centre National de la Recherche Scientifique, Département des sciences de la vie, Classification des agents biologiques pathogènes, <http://www.cnrs.fr/SDV/ogmclassi2.html>
- [53] ADIV-OFIVAL, Enquête sur le devenir des sous-produits d'épuration de 60 abattoirs français, édition 2000
- [54] BIOMASSE NORMANDIE pour le MEDD, Evolution des quantités actuelles et futures des déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités, sept 2002

[55] BONNARD R., Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2001

[56] <http://www.invs.sante.fr>

[57] <http://www.inspection.gc.ca>

[58] <http://www.cchst.ca>

ANNEXES

Table des annexes

- Annexe 1 :** Rubriques des nomenclatures ICPE et “ eau ” pouvant s’appliquer aux abattoirs
- Annexe 2 :** Principales sources d’effluents d’abattoirs
- Annexe 3 :** Flore digestive porcine
- Annexe 4 :** Récapitulatif des contacts établis
- Annexe 5 :** Récapitulatif des filières de traitement rencontrées
- Annexe 6 :** Classification OIE des maladies transmissibles (listes A et B)
- Annexe 7 :** Agents biologiques pathogènes identifiés chez les porcs
- Annexe 8 :** Agents biologiques pathogènes identifiés chez les volailles
- Annexe 9 :** Liste des germes non pertinents pour l’évaluation du risque sanitaire
- Annexe 10 :** Liste des agents biologiques d’intérêt mineur
- Annexe 11 :** Stades de développement de *Cryptosporidium spp.*
- Annexe 12 :** Commentaires des relations dose-réponse et des DMI
- Annexe 13 :** Commentaires des données de survie dans l’environnement
- Annexe 14 :** Taux de réduction pour les étapes de traitement des effluents
- Annexe 15 :** Taux de réduction pour les étapes de traitement des boues
- Annexe 16 :** Bilan des voies d’exposition
- Annexe 17 :** Réglementations européenne et américaine sur les boues d’épuration

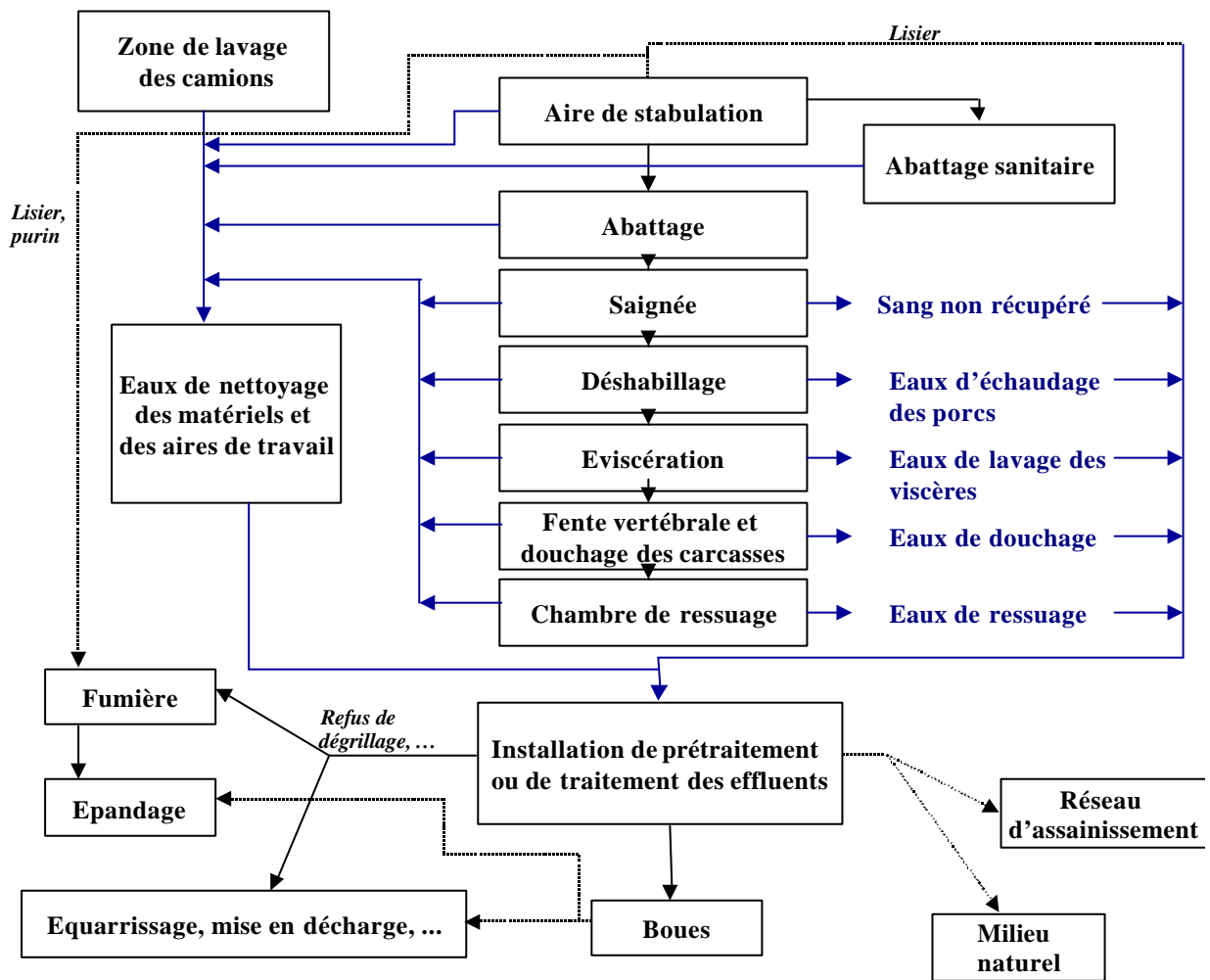
Annexe 1 :

Rubriques des nomenclatures ICPE et “eau ” pouvant s’appliquer aux abattoirs

Rubriques ICPE	Désignation des activités	Soumises à A ou D avec S
2210 (principale)	Abattage d’animaux : Lorsque la quantité de carcasses susceptibles d’être produites est - supérieure à 2 t/j - supérieure à 50 kg/j, mais inférieure ou égale à 2t/j	A D
2221 (principale)	Alimentaire (préparation ou conservation de produits) d’origine animale, par découpage, cuisson, appertisation, congélation, lyophilisation,... La quantité de produits entrants étant : - supérieure à 2 t/j - supérieure à 500 kg/j, mais inférieure ou égale à 2t/j	A D
1136	Emploi ou stockage de l’ammoniac	AS, A ou D
1418	Emploi ou stockage de l’acétylène	AS, A ou D
2070	Fabrication des engrais et support de culture à partir de produits organiques	A ou D
2171	Dépôts de fumier, engrais et supports de cultures renfermant des matières organiques et n’étant pas l’annexe d’une exploitation agricole	A ou D
2240	Extraction ou traitement des corps gras	A ou D
2260	Broyage, concassage, trituration ... de produits organiques naturels	A ou D
2355	Dépôts de peaux	A ou D
2910	Installations de combustion	A ou D
2920	Installations de réfrigération et compression	A ou D
Rubriques “ eau ”	Désignation des activités	Soumises à A ou D
2.1.0	Prélèvement dans un cours d’eau - supérieure à 5 % du débit - supérieure à 2 % du débit	A D
2.2.0	Rejet dans les eaux superficielles susceptible de modifier le régime des eaux - supérieure à 25 % du débit - supérieure à 5 % du débit	A D
2.3.0	Rejet dans les eaux superficielles dont le flux total de pollution est - MES > 20kg/j, DBO ₅ >20 kg/j, DCO > 120 kg/j, N > 15 kg/j, P>4 kg/j - MES > 5 kg/j, DBO ₅ >5 kg/j, DCO > 30 kg/j, N > 4 kg/j, P > 1 kg/j	A D
5.1.0	Station d’épuration - DBO ₅ entrée > 120 kg/j - DBO ₅ entrée > 12 kg/j	A D
5.4.0	Epandage de boues issues du traitement des eaux usées : la quantité de boues épandues dans l’année, produites dans l’unité de traitement considérée, étant - MES > 800 t/an et N > 40 t/an - MES > 3 t/an et , N > 0,15 t/an	A D
5.5.0	Epandage d’effluents ou de boues, à l’exception de celles visées à la rubrique 5.4.0 : la quantité d’effluent ou de boues épandues étant - N > 10 t/an, Volume >500 000 m ³ /an, DBO ₅ > 5 t/an - N > 1 t/an, Volume >50 000 m ³ /an, DBO ₅ > 0,5 t/an	A D

Annexe 2 : Principales sources d'effluents d'abattoirs

Exemple pour un abattoir porcin :



Annexe 3 :

Flore digestive porcine

Flore (en log de 10 ufc par g de contenu)	Porcs nouveau nés (24 heures) caecum	Porcs adultes				
		estomac	duodénum	Jéjuno-léon	caecum	féces
Totale	Nd	3 - 8	3 - 7	4 - 8	4 - 11	10 - 11
Anaérobies	Nd	7 - 8	6 - 7	7 - 8	7 - 11	10 - 11
Coliformes	Nd	4 - 5	3 - 4	4 - 5	7 - 8	7
<i>E.coli</i>	10	5	3 - 4	4 - 5	6	7
Lactobacilles	6	7 - 9	Nd	Nd	8 - 9	9
<i>Clostridium welchii</i>	0 - 1	2	Nd	Nd	5	0 - 1
Staphylocoques	Nd	Nd	Nd	Nd	5	Nd
Streptocoques	Nd	5	4 - 5	6 - 7	8	8
Entérocoques	6	Nd	4 - 5	6 - 7	6	Nd
Levures	Nd	5	4	4	2 - 3	4 - 5
Bacteroides	Nd	0-1	Nd	Nd	Nd	8
Sporulés aérobies	4	Nd	Nd	Nd	4	Nd

Tableau de valeurs issues et adaptées de Hirsch-DC 1999 et tiré de [4]

Nd : Non documenté

Annexe 4 : Récapitulatif des contacts établis

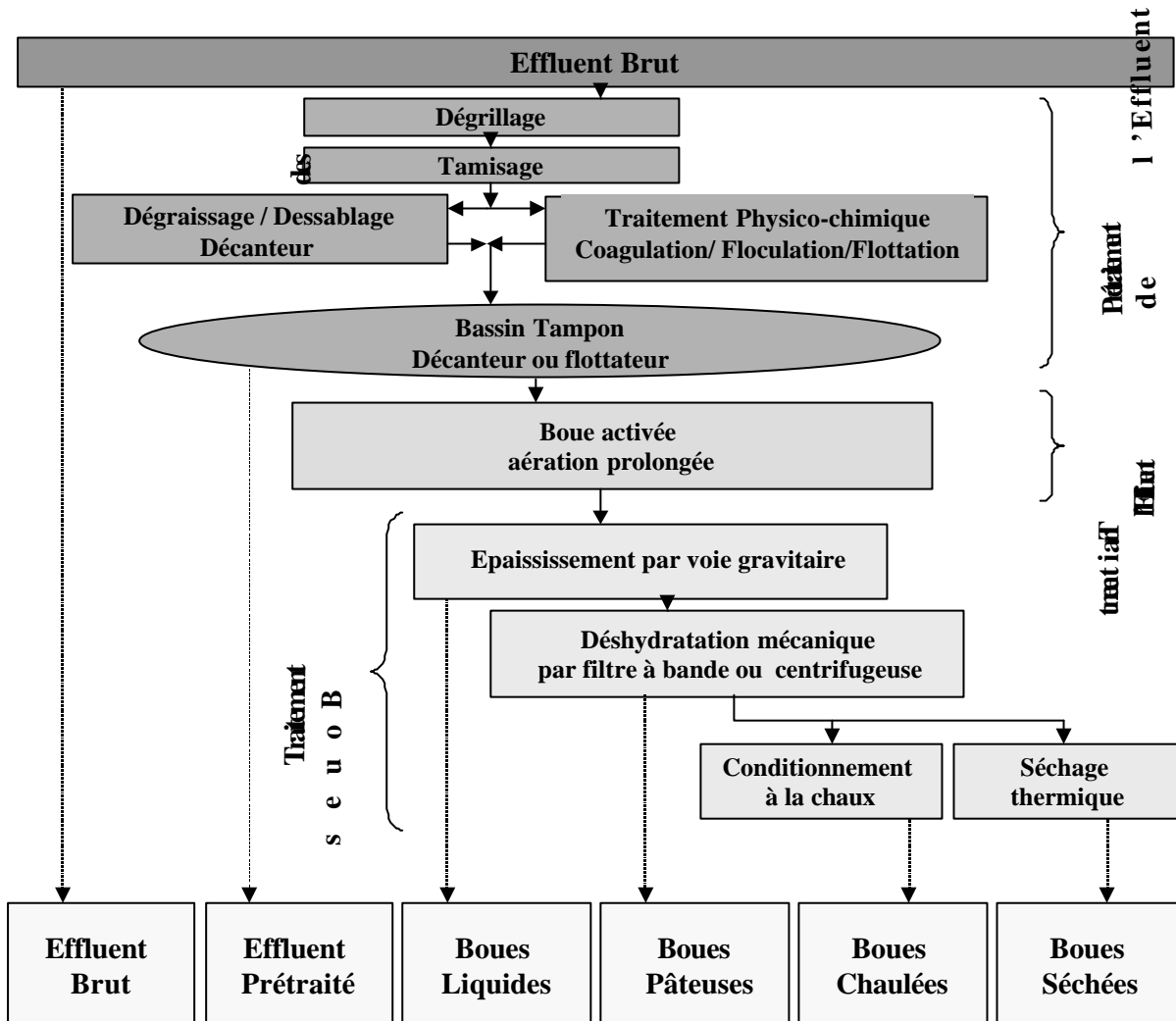
Partie 1 : Caractérisation du fonctionnement des abattoirs et des pratiques d'épandage

Nom des organismes ou des établissements	Nature des données
6 Agences de l'eau : Adour Garonne, Artois Picardie, Loire Bretagne, Seine Normandie, Rhin Meuse, Rhône Méditerranée Corse	Dénombrement des abattoirs, filières de traitement (effluents et boues), contraintes réglementaires des abattoirs et visite d'établissements
DDSV des Côtes d'Armor, du Finistère, d'Ille et Vilaine, du Morbihan, de Sarthe	Dénombrement des abattoirs, filières de traitement (effluents et boues), contraintes réglementaires (abattoirs et épandage) et pratiques d'épandage (cahiers et plans d'épandage, arrêtés d'autorisation)
Chambres d'Agriculture des Côtes d'Armor, du Finistère, d'Ille et Vilaine	Contraintes réglementaires et pratiques liées à l'épandage
MAAPAR (DPEI)	Dénombrement et perspectives économiques des abattoirs
Syndicats professionnels : FNEAP, FIA, SNIV, OFIVAL, INTERBEV, INT du porc, ITAVI	Organisation de l'abattage, devenir des sous-produits d'abattage et filières de traitement (effluents et boues)
SYPREA	Pratiques liées à l'épandage
ADEME	Filières de traitement (effluents et boues), contraintes réglementaires (abattoirs et épandage)
CEMAGREF (unité de recherche : gestion des effluents d'élevage et des déchets municipaux)	Filières de traitement (effluents et boues), devenir des sous-produits d'abattage et d'épuration

Partie 2 : Recueil des données pour l'évaluation des risques

Nom des organismes ou des établissements	Nature des données
AFSSA Ploufragan	Caractérisation des agents biologiques et portage animal
INVS	Caractérisation des agents biologiques et données sur l'exposition
Institut Pasteur	Caractérisation des agents biologiques
CNRS	Caractérisation des agents biologiques
DDSV	Caractérisation des agents biologiques
ENVF	Caractérisation des agents biologiques
INRA	Caractérisation des agents biologiques
ADEME	Caractérisation des agents biologiques
CEMAGREF	Données sur les taux d'abattement des pathogènes et sur les filières de traitement

Annexe 5 : Récapitulatif des filières de traitement rencontrées



Annexe 6 :

Classification OIE des maladies transmissibles (listes A et B)

La liste A :

Elle correspond aux maladies qui ont un grand pouvoir de diffusion et une gravité particulière, susceptible de s'étendre au-delà des frontières nationales, dont les conséquences socio-économiques ou sanitaires sont graves et dont l'incidence sur le commerce international des animaux et des produits d'origine animale est très importante.

Elle comprend :

Fièvre aphteuse	Peste équine	Péripneumonie contagieuse bovine
Maladie vésiculeuse du porc	Peste porcine classique	Fièvre de la vallée du Rift
Peste des petits ruminants	Maladie de Newcastle	Clavelée et Variole caprine
Dermatose nodulaire contagieuse	Stomatite vésiculeuse	Peste porcine africaine
Fièvre catarrhale du mouton	Peste bovine	Influenza aviaire hautement pathogène

La liste B :

Elle correspond aux maladies transmissibles qui sont considérées comme importantes du point de vue socio-économique et/ou sanitaire au niveau national et dont les effets sur le commerce international des animaux et des produits d'origine animale ne sont pas négligeables. Ces maladies font généralement l'objet d'un rapport annuel, mais dans certains cas, selon la périodicité prévue par les dispositions des articles 1.1.3.2 et 1.1.3.3 du code zoosanitaire international, elles peuvent faire l'objet de rapports plus fréquents.

Elle comprend :

<i>Maladies communes à plusieurs espèces</i>	<i>Maladies des suidés</i>	<i>Maladies des oiseaux</i>
Cowdriose Echinococcose / hydatidose Fièvre charbonneuse Fièvre Q Leptospirose Maladies d'Aujesky Myiase à Chrysomya bezziana Myiase à Cochliomyia hominivorax Paratuberculose Rage Trichinellose	Brucellose porcine Cysticercose porcine Encéphalomyélite à entérovirus Gastro-entérite transmissible Rhinite atrophique du porc Syndrome dysgénésique et respiratoire du porc	Bronchite infectieuse aviaire Bursite infectieuse Chlamydiose aviaire Choléra aviaire Entérite virale du canard Hépatite virale du canard Laryngotrachéite infectieuse aviaire Maladie de Marek Mycoplasmosse aviaire Pullorose Tuberculose aviaire Typhose aviaire Variolose aviaire

Annexe 7 :

Agents biologiques pathogènes identifiés chez les porcs

Maladies	Agents pathogènes	Distribution	Mode de transmission	Eventail des espèces porteuses
<u>Bactériennes :</u>				
Fièvre charbonneuse	<i>Bacillus anthracis</i>	Mondiale	Directe, véhicules, (transmission vectorielle expérimentale)	Bovins, moutons, chèvres, chevaux camélidés et humains
Brucellose porcine	<i>Brucella suis</i>	Europe, Amérique du sud, Afrique, Inde, Asie central, Australie,...	Directe, véhicules	Ruminants, porcs et chevaux
Brucellose bovine	<i>Brucella abortus</i>	Mondiale	Directe, véhicule	Ruminants, porcs et chevaux
Leptospirose	sérovars de <i>Leptospira</i>	Mondiale	Directe	Animaux à sang chaud
Paratuberculose	<i>Mycobacterium paratuberculosis</i>	Mondiale	Directe, véhicules	Ruminants, porcs et chevaux
Tuberculose bovine	<i>Mycobacterium bovis</i>	Mondiale	Directe, véhicules	Ruminants, porcs et humains
Rhinite atrophique du porc	<i>Pasteurella multocida toxinogène</i>	Europe et Etats-unis	Directe	Porcs
Trypanosomose	<i>Nagana-tryposoma brucei, T. congolens, T. simiae,...</i>	Afrique, Amérique du sud, Asie	Vecteurs (mouche tsé-tsé et tous les organismes de Nagana)	La plupart des animaux à sang chaud
Mélioidose	<i>pseudomonas pseudomallei</i>	Australie, Papouasie-Nouvelle Guinée	Directe	Animaux domestiques, porcs, rongeurs et humains
Filariose	<i>Suifiliria suis</i>	Afrique du Sud	Vecteurs	Bovins et porcs
Theiléroise	<i>Theileria parva, muatans, orientalis,..</i>	Afrique et Australie	Vecteurs (T. mutans transmis par Amblyomma spp seulement)	Ruminants et porcs
Besnoitiose	<i>besnoitia besnoiti, benneti</i>	France, Israel, Corée, Russie,...	Vecteurs, véhicules	Bovins, cervidés, porcs,...
Babésiose	<i>Babesia spp et trautmanni</i>	Russie et Afrique	Vecteurs	Ruminants et porcs
Campylobactériose	<i>Campylobacter jejuni et coli</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont porcs et humains
Colibacillose	<i>Escherchia coli entéropathogènes, (ex; EC 0 157)</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont porcs et humains
Salmonellose	<i>Salmonella spp surtout panama, typhimurium et</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont porcs et humains

	<i>enteritidis</i>			
Rouget	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Mondiale	Directe Indirecte	Nombreuses espèces dont porcs
Streptococcies Suis	<i>Streptococcus suis</i> , du groupe R	Mondiale	Directe	Porcs
Staphylococcies	<i>Staphylococcus aureus</i>	Mondiale	Directe	Nombreuses espèces dont porcs et humains
Pseudotuberculose	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Nombreuses espèces dont porcs
Infections diverses	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont porcs
Clostridiose	<i>Clostridium botulinum et perfringens</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont porcs
Listériose	<i>Listeria monocytogenes</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont porcs et humains
Yersiniose	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont porcs et humains
<u>Virales :</u>				
Fièvre aphteuse	<i>Virus O,A, C, Sat 1, sat 2, sat 3</i>	Europe, Afrique, Asie, Amérique du sud	Directe, Véhicules, Aérogène	Artiodactyles
Maladie d'Aujesky	<i>Herpes virus -1 porcin</i>	Mondiale	DirecTs, véhicules	Bovins, moutons, chiens, chevaux, chats et chiens. Les porcs sont des hôtes intermédiaires
Peste Bovine	<i>Morbilivirus</i>	Asie, Moyen- Orient, Afrique tropicale	Directe, Véhicules	Ruminants et porcs
Peste porcine classique	<i>Pestivirus</i>	Europe, Amérique du sud et centrale, Afrique et Asie	Directe, véhicules, vecteurs	Porcs
Rage	<i>Rhabdovirus</i>	Mondiale	Directe (morsure)	Animaux à sang chaud
Encéphalomyélite à enterovirus	<i>entérovirus, virus de teschen</i>	Mondiale	Directe	Porcs
Peste porcine africaine	<i>arbovirus</i>	Europe et Afrique	Directe, véhicules, vecteurs.	Porcs
Maladie vésiculeuse du porc	<i>entérovirus</i>	Europe et Japon	Directe, véhicules	Porcs
Stomatite vésiculeuse	<i>virus indiana et New jersey</i>	Etats Unis, Amérique centrale et du sud	Directe, véhicules, vecteurs (moustiques, mouches piqueuses)	Bovins, ânes, chevaux porcs et camélidés
Gastro-entérite transmissible (GET)	<i>Coronavirus</i>	Europe, Etats unis, ...	Directe, véhicules	Porcs
Syndrome dysgénésique et respiratoire du porc	<i>Coronaviridae</i>	Europe et Etats- unis	Directe, véhicules	Porcs

Virus NIPAH	<i>Paramyxovirus</i>	Malaysie	Directe	Porcs et humains
<u>Parasitaires :</u>				
Echinococcose/ hydatose	<i>Echinococcus granulosus</i>	Mondiale	Directe	Porcs, ruminants et humains
Trichinellose	<i>Trichinella spiralis</i>	Mondiale	Véhicules	Porcs et humains
Cysticercose porcine	<i>Cysticercus cellulosae</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Nombreuses espèces dont porcs
Cryptosporidiose	<i>cryptosporidium spp (surtout parvum)</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Nombreuses espèces dont porcs et humains
Giardiose	<i>Giardia lamblia (protozoaire)</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Nombreuses espèces dont porcs et humains
Toxoplasmose	<i>Toxoplasma</i>	Mondiale	Directe	Nombreuses espèces dont porcs et humains
Taeniasis	<i>Taenia solium</i>	Mondiale	Directe	Porcs et humains
Ascaridiose	<i>Ascaris suum (nématodes)</i>	Mondiale	Directe	Porcs et humains
Myiases à chrysomya bezziana	<i>Chrysomya bezziana (arthropodes)</i>	Afrique tropicale et subtropicale, Asie, Amérique centrale et du sud	Directe	Animaux à sang chaud et oiseaux
Myiases à cochliomyia	<i>Cochliomyia hominivorax</i>	Afrique tropicale et subtropicale, Asie, Amérique centrale et du sud	Directe	Animaux à sang chaud et oiseaux

Annexe 8 :

Agents biologiques identifiés chez les volailles

Maladies	Agents pathogènes	Distribution	Mode de transmission	Eventail des espèces porteuses
Bactériennes :				
Tuberculose aviaire	<i>Mycobactérium avium</i>	Mondiale	Directe, Véhiculés	Oiseaux
Typhose et pullorose aviaire	<i>Salmonella gallinarum et pullorum</i>	Mondiale	Directe, Véhiculés, aérogènes	Poulets et dindons
Spirochétose aviaire	<i>Borrelia anserina</i>	Sud des Etats-unis	Directe, Vecteurs (tiques)	Oiseaux
Chlamydie et psittacose aviaire	<i>Chlamidophila psittaci</i>	Mondiale	Directe	Oiseaux
Cholera aviaire	<i>Pasteurella multocida et haemolytica</i>	Mondiale	Directe	Oiseaux
Campylobactériose	<i>Campylobacter jejuni et coli</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont volailles et humains
Infections diverses	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Mondiale	Directe	Nombreuses espèces dont volailles
Pseudotuberculose	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Nombreuses espèces dont volailles
Yersiniose	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont volailles et humains
Clostridiose	<i>Clostridium botulinum et perfringens</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont volailles
Rouget	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont oiseaux
Listériose	<i>Listeria monocytogenes</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont volailles
Mycobactérioses	<i>Mycobactéries atypiques</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Oiseaux
Infections diverses	<i>Aeromonas hydrophila</i>	Mondiale	Directe	Nombreuses espèces dont volailles et humains
Streptococcies	<i>Streptococcus suis, du groupe R</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Nombreuses espèces dont volailles et humains
Salmonellose de la poule	<i>Salmonella enteridis et typhimurium</i>	Mondiale	Directe, Indirecte	Nombreuses espèces dont volailles et humains
Virales :				
Hépatite virale du canard	<i>Fièvre de l'hépatite du canard</i>	Mondiale	Directe	Sauvagine
Affection à parvovirus de l'oie	<i>parvovirus</i>	Europe, Russie, Israël, Moyen	Directe, véhiculés	Oies et canards musqués

(fièvre de Derszy)		Orient		
Rhinotrachéite virale du dindon, syndrome de la grosse tête des poulets	<i>Paramyxovirus</i>	Mondiale	Directe (transmission par aérogène et véhiculés très probable mais non prouvée)	Dindons, poulets, pintades et faisans
Influenza aviaire (ou peste aviaire)	<i>Orthomyxoviridae influenza</i>	Mondiale	Directe et indirecte	Oiseaux
Bronchite infectieuse aviaire	<i>Coronavirus</i>	Europe, États-Unis d'Amérique et Australie	Directs, véhiculés	Oiseaux
Laryngotrachéite infectieuse aviaire	<i>Herpes virus</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Oiseaux
Maladie de Marek	<i>Herpes virus</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Oiseaux
Maladie de Gumboro (Bursite infectieuse)	<i>Herpes virus</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Oiseaux
Maladie de Newcastle	<i>Paramyxovirus aviaire de type 1</i>	Afrique, Europe, Amérique du Sud	Directe, Véhiculés, Aérogènes	Oiseaux
Entérite virale du canard	<i>Reovirus Rotavirus</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Canards
Variole aviaire	<i>Poxvirus</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Oiseaux

Parasites :

Trichostrongyloïdose, spirurose, trichomonose	<i>Amidostomum anseris, acuaris spiralis, Echinuria uncinata, ...</i>	Mondiale	Directe, véhiculés	Oiseaux
Taeniasis	<i>Hymenolepsis collaris, Hymenolepsis carioca, Fimbriaria fasciolaris, Davainia proglottina</i>	Mondiale	Directs, véhiculés	Oiseaux
Cryptosporidiose	<i>Cryptosporidium spp (surtout parvum)</i>	Mondiale	Directe	Nombreuses espèces dont volailles et humains
Coccidiose	<i>Coccidies</i>	Mondiale	Directe	Oiseaux
Giardiose	<i>Giardia lamblia</i>	Mondiale	Directe	Nombreuses espèces dont oiseaux et humains

Annexe 9 :

Liste des germes non pertinents pour l'évaluation du risque sanitaire

Pour le porc :

Maladies	Type de micro-organismes	Principaux critères d'exclusion (Sources : ENVF, ACIA, OIE, AFSSA, INRA, Institut Pasteur)
Fièvre aphteuse	Virus Virus O, A, C, Sat 1, sat 2, sat 3	- dernier foyer recensé en 1981, - vaccination arrêtée depuis 1991, - transmission a été rapportée mais suite à une blessure.
Peste Bovine	Virus Morbilivirus	- absence de France (présence en Asie, Moyen-Orient, Afrique tropicale), - éradiquée en France depuis 1870, - non transmissible à l'homme
Peste porcine classique	Virus Pestivirus	- aucun foyer depuis 1993, - vaccination interdite depuis 1983, - contrôle négatifs en élevage et en abattoirs.
Myiases à chrysomya bezziana	Parasite Chrysomya bezziana (arthropodes)	- absente de France (présence en Afrique tropicale et subtropicale, Asie, Amérique centrale et du sud), - zoonose accidentelle et rare.
Myiases à cochliomyia	Parasite Cochliomyia hominivorax	- absente de France (présence en Afrique tropicale et subtropicale, Asie, Amérique centrale et du sud), - zoonose accidentelle et rare.
Gastro-entérite transmissible (GET)	Virus Coronavirus	- lutte volontaire: vaccination et contrôle sérologique, - spécifique du porc : non transmissible à l'homme.
Rhinite atrophique du porc	Bactérie Pasteurella multocida toxinogène	- prévalence faible car programme volontaire de contrôle, - spécifique au porc : non transmissible à l'homme.
Syndrome dysgénésique et respiratoire du porc	Virus Coronaviridae	- prévalence faible car programme volontaire de contrôle, - spécifique du porc : non transmissible à l'homme.
Trypanosomose	Bactérie Nagana-tryposoma brucei, T. congolens, T. simiae,...	- absente de France (présence en Afrique, Asie, Amérique du sud) - spécifique du porc : non transmissible à l'homme.
Mélioïdose	Bactérie Pseudomonas pseudomallei	- absente de France (présence en Australie, Papouasie-Nouvelle Guinée), - spécifique du porc : non transmissible à l'homme.
Filariose	Bactérie Suifiliria suis	- absente de France (présence en Afrique du Sud), - spécifique au porc : non transmissible à l'homme.
Virus NIPAH	Virus Paramyxovirus	- absence en France (présence en Malaisie), - spécifique du porc : pas une zoonose.
Theiléroïse	Bactérie Theileria parva, muatans, orientalis,..	- absence en France (présence en Afrique et Australie), - faible prévalence, - spécifique du porc : pas une zoonose.
Besnoitiose	Bactérie besnoitia besnoiti,	- faible prévalence, - spécifique du porc : pas une zoonose.

	benneti	
Babésiose	Bactérie Babesia spp et trautmanni	- absence en France (présence en Russie et Afrique), - spécifique du porc : pas une zoonose.
Taeniasis	Bactérie Taenia solum	- pratiquement disparu des pays industrialisés dont la France, - peu dangereux et facile à soigner, - surveillance des carcasses en abattoirs et élimination des carcasses ladres
Ascariidose	Parasite Ascaris suum (nématodes)	- très rare en France - peu dangereux et facile à soigner.
Rage	Virus Rhabdovirus	- net recul depuis 10 ans, en bonne voie d'éradication, - essentiellement vulpine.
Maladie d'Aujeszky	Virus Herpes virus -1 porcin	- peu présent (deux départements touchés) et prophylaxie volontaire, - épidémiosurveillance passera du dépistage systématique au sondage du fait de la diminution des cas, - zoonose exceptionnelle, très rare, - maladie surtout animale et en plus bénigne.
Brucellose bovine	Bactérie Brucella abortus	- apparaît sporadiquement et uniquement dans les élevages de type ouvert, avec contact avec les animaux sauvages, - très faible prévalence.
Echinococcose / hydatose	Parasite Echinococcus granulosus	- cas sporadique (surtout dans bassin méditerranéen), - contrôle systématique en abattoir.
Paratuberculose	Bactérie Mycobacterium paratuberculosis	- prévalence faible car programme volontaire de contrôle, - zoonose rare car peu pathogènes pour les mammifères, - surtout chez les bovins.
Tuberculose bovine	Bactérie Mycobacterium bovis	- prévalence faible car programme volontaire de contrôle et d'éradication, - zoonose rare car prophylaxie collective mise en place et peu transmissible à l'homme, - surtout chez les animaux sauvages.
Cysticercose porcine	Parasite Cysticercus cellulosae	- présence dans les tissus, - faible prévalence.
Streptococcose	Bactérie Streptococcus suis, du groupe R	- zoonose professionnelle avec nécessité de plaies, - grande spécificité de l'action pathogène sur le porc, - présence dans le nez, les amygdales et le système reproducteur porcin, - rare par ingestion de viande (mal cuite).
Staphylococcose	Bactérie Staphylococcus aureus	- zoonose possible mais très rare, - transmission animal/homme exceptionnelle.

Pour les volailles :

Maladies	Type de micro-organismes	Principaux critères d'exclusion (Sources : ENVF, ACIA, OIE, AFSSA, INRA, Institut Pasteur)
Tuberculose aviaire	Bactérie <i>Mycobactérium avium</i>	- programme national de lutte utilisant une prophylaxie sanitaire, - existe pratiquement plus en volailles de rente.
Hépatite virale du canard	Virus <i>Fièvre de l'hépatite du canard</i>	- spécifique du canard : pas une zoonose, - reste exceptionnel, - programmes de vaccination mis en place.
Spirochétose aviaire	Bactérie <i>Borrelia anserina</i>	- absent de France (présence dans le sud des Etats Unis), - spécifique des volailles : pas une zoonose.
Affection à parvovirus de l'oie (fièvre de Derszy)	Virus <i>Parvovirus</i>	- spécifique des volailles : pas une zoonose, - reste exceptionnel.
Rhinotrachéite virale du dindon, syndrome de la grosse tête des poulets	Virus <i>Paramyxovirus</i>	- spécifique du canard : pas une zoonose, - faible prévalence.
Bronchite infectieuse aviaire	Virus <i>Coronavirus</i>	- faible présence en France même si relevé dans tous les pays avec aviculture industrielle intensive, - spécifique des volailles : pas une zoonose.
Laryngotrachéite infectieuse aviaire	Virus <i>Herpes virus</i>	- faible présence en France, - spécifique des volailles : pas une zoonose, - il n'existe aucune preuve formelle du danger de ces virus néoplasiques aviaires pour la santé publique.
Maladie de Marek	Virus <i>Herpes virus</i>	- spécifique des volailles : pas une zoonose, - reste exceptionnel.
Maladie de Gumboro (Bursite infectieuse)	Virus <i>Herpes virus</i>	- faible présence en France, - spécifique des volailles : pas une zoonose,
Maladie de Newcastle	Virus <i>Paramyxovirus aviaire de type 1</i>	- affection bénigne (conjonctivite et symptômes asthmatiformes) - contrôles sanitaires de surveillance et de protection aucun foyer jamais détecté en France.
Enterite virale du canard	Virus <i>Reovirus Rotavirus</i>	- spécifique des volailles : pas une zoonose.
Cholera aviaire	Bactérie <i>Pasteurella multocida et haemolytica</i>	- spécifique des volailles : pas une zoonose.
Variole aviaire	Virus <i>Poxvirus</i>	- spécifique des volailles : pas une zoonose.
Trichostrongyloïdose, spirurose, trichomonose	Bactérie <i>Amidostomum anseris, acuaris spiralis, Echinuria uncinata, tetrameres confusa, trichomonas sp</i>	- spécifique des volailles : pas une zoonose.
Taeniasis	Parasite <i>Hymenolepsis collaris, Hymenolepsis carioca,</i>	- spécifique des volailles : pas une zoonose.

	<i>Fimbriaria fasciolaris,</i> <i>Davainia proglottina</i>	
Coccidiose	Parasite <i>Coccidies</i>	- spécifique des volailles : pas une zoonose.
Streptococcose	Bactérie <i>Streptococcus spp</i>	- zoonose professionnelle avec nécessité de plaies, - grande spécificité de l'action pathogène des différentes espèces.
Staphylococcose	Bactérie <i>Staphylococcus aureus</i>	- zoonose possible mais très rare, - transmission animal/homme exceptionnelle.
Chlamydie et psittacose aviaire	Bactérie <i>Chlamidophila psittaci</i>	- existe pratiquement plus en volailles de rente, - zoonose professionnelle (éleveurs et abattoirs) suite à l'inhalation de poussières ou de fientes desséchées, - homme est un hôte accidentel.
Influenza aviaire (ou peste aviaire)	Virus <i>Orthomyxoviridae influenza</i>	- pas décelé en France depuis 1948, - peu résistant dans milieu extérieur, - affection souvent inapparente sauf cas de transmission à Hong Kong.
Infections diverses	Bactérie <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	- flore cutanée, - peu représentée, - présente dans l'environnement, - affecte surtout les immunodéprimés.
Rouget	Bactérie <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	- oiseaux ne sont pas le réservoir principal, - dindes sont les plus infectées mais peu d'incidence en France.

Annexe 10 :

Liste des agents biologiques d'intérêt mineur

Les bactéries

Bactéries portées par les porcs	Critères d'intérêt	Critères d'exclusion
<i>Bacillus anthracis</i>	<ul style="list-style-type: none"> - zoonose majeure, - forme sporulée très résistante, - DMI de 8 000 à 50 000 organismes, - existence de trois formes de maladies dont une très grave (pulmonaire). 	<ul style="list-style-type: none"> - apparition de façon exceptionnelle et rare en France, - porc n'est pas l'espèce cible prédominante, - animaux atteints présentent vite des signes cliniques, - animaux malades décèdent rapidement, - zoonose professionnelle accidentelle par coupure (pour forme végétative), - souvent lésion reste localisée à la peau avec une rare évolution septicémique, - reste surtout localisé dans les tissus animaux, - pas de transmission inter humaine.
<i>Brucella suis</i>	<ul style="list-style-type: none"> - présence fécale, urinaire, tissus, ..., souvent inapparente chez le porc (portage sain), - forme aiguë septicémique chez l'homme : zoonose majeure, - contamination possible par contact ou ingestion d'eau de boisson ou de végétaux crus contaminés, - survie importante dans l'environnement, - recrudescence chez les sangliers (or augmentation de la production de porcs biologiques élevés à l'extérieur et donc exposition plus importante). 	<ul style="list-style-type: none"> - Prévalence faible car prophylaxie obligatoire en élevage, - contamination surtout par voie directe (cutanée ou inhalation) : surtout zoonose professionnelle ou accidentelle, - taux de mortalité humaine inférieur à 12% (tout type de brucellose confondu), - nombre de cas déclarés inférieur à 100 en France (tout type confondu), - pas de transmission inter humaine, - sources de contaminations ont beaucoup diminué, - forme mineure de la maladie est la plus fréquente.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<ul style="list-style-type: none"> - contamination possible [11] par contact ou ingestion d'eau de boisson ou de végétaux crus contaminés, - présence possible dans les effluents d'abattoirs en concentration importante [35], - une forme grave d'infection : septicémique. 	<ul style="list-style-type: none"> - naturellement présente dans l'environnement, pas de spécificité animale, - appartient surtout à la flore cutanée des porcs, - affecte surtout les immunodéprimés (cas graves), - infection souvent mineure : plaies cutanées ou diarrhée.
	<ul style="list-style-type: none"> - porcs et sol sont le principal 	<ul style="list-style-type: none"> - zoonose mineure,

<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	<ul style="list-style-type: none"> - réservoir, - porcs sont porteurs sains à hauteur de 30 à 50% qui hébergent le bacille au niveau de leurs amygdales et de leurs reins, - portage latent, - excrétion dans les fèces chez 10 à 50% des animaux, - germe très résistant dans le milieu extérieur. 	<ul style="list-style-type: none"> - peu fréquente en France, - zoonose professionnelle et accidentelle suite à une inoculation cutanée - homme résistant aux autres voies de contamination, - souvent érythème prurigineux localisé allant rarement à un rouget septicémique en l'absence de soin.
<i>Leptospira interrogans</i>	<ul style="list-style-type: none"> - animaux infectés pas toujours malades et pouvant tout de même excréter la bactérie dans leur urine et leurs selles (portage sain), - transmission directe ou indirecte par contact avec l'urine : passage transcutanée, par muqueuses du nez, par la bouche ou les yeux, - infection la plus sévère est l'ictère infectieux, - germe très résistant dans l'environnement humide (sol humide, boues ou eaux), - maladie définie comme prioritaire pour les Antilles. 	<ul style="list-style-type: none"> - réservoir naturel le plus important constitué par les rongeurs, - bactérie très répandues dans l'environnement, - maladie rare en France (300 à 600 cas par an) avec un taux de mortalité allant de 2 à 20%, - milieu hydrique indispensable pour sa survie et sa transmission (champs d'épandage traditionnel pas milieu idéal et favorable), - impossibilité de se développer hors d'un mammifère.

Bactéries portées par les volailles	Critères d'intérêt	Critères d'exclusion
<i>Mycobacterium avium</i>	<ul style="list-style-type: none"> - occasionnellement pathogène pour humains car germe opportuniste, - infections ganglionnaires, pulmonaires ou cutanées pouvant être graves, - contamination à partir de l'eau ou du sol souillé, - très résistante dans l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> - souvent inoculation accidentelle ou transmission par voie respiratoire (rarement digestive) : zoonose professionnelle du personnel d'abattoir ou d'élevage, - peu fréquente en France.
<i>Aeromonas hydrophila</i>	<ul style="list-style-type: none"> - présence fécale (<i>Aeromonas spp</i> présent de 4,3% à 29,1% dans les fèces dont 51,9% sont de type <i>A. hydrophila</i> [13]), - contamination humaine par consommation d'eau de boisson ou de végétaux crus contaminés, - de plus en plus mise en évidence dans les selles de malades atteints de diarrhée, - opportuniste : infections sévères chez les immunodéprimés. 	<ul style="list-style-type: none"> - naturellement présente dans l'environnement et surtout dans les milieux aquatiques, - certains sérotypes sont pathogènes, - fait partie majoritairement de la flore cutanée.

- germe d'intérêt croissant.

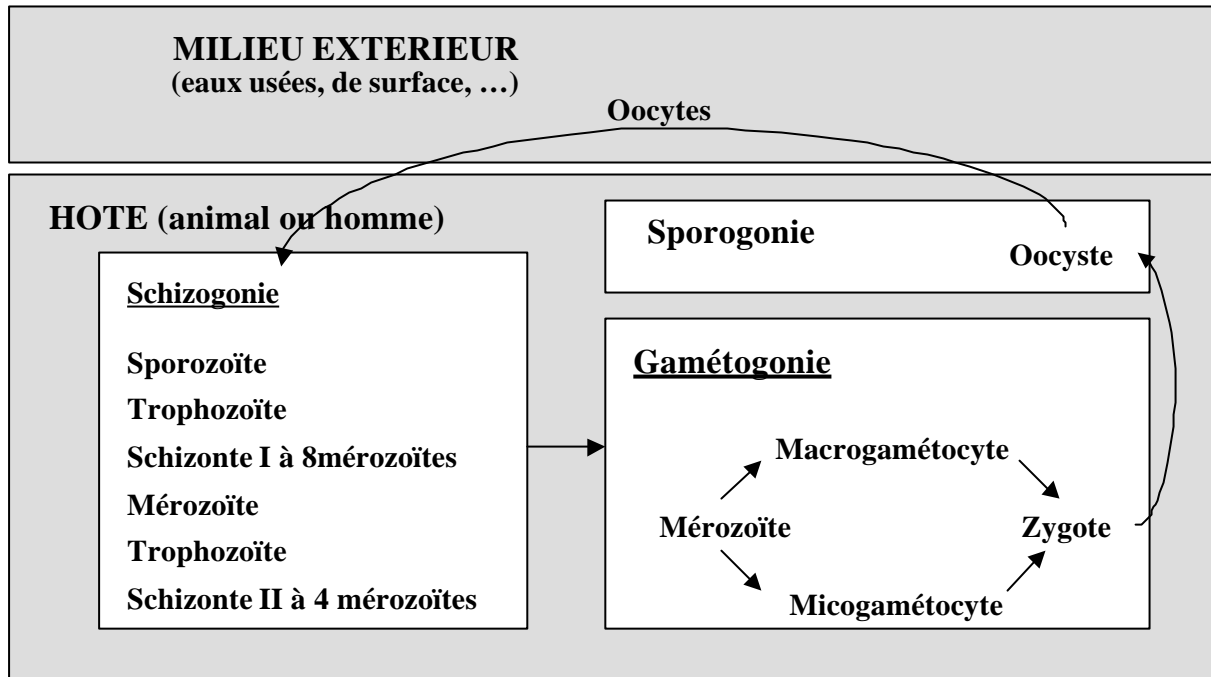
Les parasites

Parasites portés par le porc	Critères d'intérêt	Critères d'exclusion
<p><i>Toxoplasma trè</i> (protozoaire)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - portage sain chez le porc, - infection grave chez la femme enceinte non prémunie (source de foetopathie grave) et les immunodéprimés (source d'abcès cérébraux), - contamination par ingestion d'oocystes venant du sol ou de végétaux souillés, - Prévalence sérologique des porcs variable suivant les régions allant de 18 à 36 %, - sans contrôle vétérinaire ni système de surveillance des cas humains. 	<ul style="list-style-type: none"> - présence dans les tissus musculaires : d'où faible probabilité de retrouver des parasites viables et/ou en nombre suffisant dans l'effluent ou les boues, - pas le réservoir principal, porcs sont des hôtes intermédiaires, - prévalence animale aurait tendance à diminuer.
<p><i>Trichinella sp</i> (dont surtout <i>spiralis</i>, plus rarement <i>britori</i> et <i>pseudospiralis</i>) (nématode)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - résistance variable des larves infectantes suivant les conditions environnementales (quelques mois au maximum), - peut entraîner des avortements et des malformations du bébé, - contrôle vétérinaire partiel : instauré pour les sangliers, porcs élevés en plein air, et chevaux, - contamination par ingestion de sol contaminé (d'où prévalence plus importante chez l'enfant), - développement des élevages semi-plein air entraîne un risque accru de contamination des porcs par les sangliers principalement (confirmation par la détection de cas à l'abattoir, dans l'ouest de la France). 	<ul style="list-style-type: none"> - réservoir principal est l'environnement et le cheval, - présence dans les tissus musculaires : d'où faible probabilité de retrouver des parasites viables et/ou en nombre suffisant dans l'effluent ou les boues, - contamination surtout liée à la consommation de viande insuffisamment cuite, - sans gravité dans la majeure partie des cas : fatigue, maux de tête, troubles digestifs et douleurs musculaires, - pas de porc domestiques concernés depuis plusieurs années (dernier cas en 1983), - contrôle permanent en abattoir, - porcs élevés en batterie ne sont pas exposés, - prévalence animal très faible.

Parasites communs aux deux espèces	Critères d'intérêt	Critères d'exclusion
<p><i>Giardia lamblia</i> (protozoaire)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - portage sain des porcs, - transmission des trophozoïtes (forme infectante) par l'alimentation, les eaux souillées et le manuportage, - parasite intestinal présent dans les fécès, - kystes (forme de résistance) résistants bien dans l'environnement, - source d'entérites, douleurs abdominales et plus rarement d'asthémie, de l'anorexie ou de nausées. 	<ul style="list-style-type: none"> - homme est le principal réservoir (suivi par le chien et le chat), - souvent asymptomatique chez l'homme, - traitement thérapeutique humain efficace, - virulence variable et fonction de la souche considérée, - faible prévalence porcine.

Annexe 11 :

Stades de développement de *Cryptosporidium spp.*



Annexe 12 : Commentaires des relations dose-réponse et des DMI

Deux approches sont envisageables pour appréhender les relations dose-réponse.

a. Approche avec seuil

Cette approche est fondée sur l'utilisation de la " Dose Minimale Infectante " (DMI) ou de la " Dose Infectieuse 50 % " (DI_{50}). Elles correspondent respectivement à la plus petite dose d'agents biologiques pouvant provoquer une infection chez des individus exposés, et à la dose pour laquelle 50 % des individus exposés développent la maladie.

La majeure partie des données recueillies sont des DMI. Mais, leur utilisation et leur interprétation doivent être nuancées. En effet, ces données sont issues de conditions expérimentales particulières et elles sont établies sur des animaux, puis extrapolées aux humains en affectant un facteur de sécurité de 1 000 le plus souvent. De plus, ces valeurs ne tiennent pas compte des différences de sensibilité qui peuvent se rencontrer au niveau de la population humaine.

Actuellement on privilégie l'approche sans seuil. En effet, elle s'appuie sur des lois statistiques de type " exponentielle " ou " Béta-Poisson ", ce qui lui permet de tenir compte de la variabilité des sensibilités des individus exposés par rapport à un pathogène considéré.

b. Approche sans seuil

Dans ce cas, chaque micro-organisme est caractérisé par une loi statistique qui sera déterminée expérimentalement ou à l'aide de données épidémiologiques, afin de modéliser le plus précisément possible la réponse humaine à l'exposition à un germe donné.

On utilise fréquemment **les lois exponentielle ou Béta-Poisson** ayant respectivement pour formule :

$$P = \exp(-r \times d)$$

Et

$$P = 1 - (1 + d / b)^{-a}$$

Avec

P : la fraction de la population qui risque d'être infectée par une exposition unique à un nombre moyen de micro-organismes, dose notée "**d**".

Pour utiliser ces équations, il faut supposer que :

- Seul un micro-organisme viable est nécessaire pour initier le processus d'infection *in vivo*.
- Les individus ingèrent un nombre de micro-organismes représentant un échantillon pris au hasard dans une distribution de Poisson ayant **d** pour moyenne.
- La survie d'un micro-organisme au sein d'un hôte donné est indépendante de la survie des autres micro-organismes au sein de ce même hôte.

- Dans le cas, d'un modèle exponentiel , la probabilité de survie de chacun des micro-organismes est représenté par **r** dans n'importe quel hôte.
- Dans le cas de la loi Béta-Poisson, la distribution des probabilités de survie du micro-organisme est donné par une distribution Béta de paramètres **b** et **a**.

Les paramètres **r**, **b** et **a** sont propres à chaque agents biologiques. Ils sont déterminés expérimentalement ou avec les relations suivantes :

$$r = 0,69 / D.I._{50}$$

$$b = D.I._{50} / (2^{1/a} - 1)$$

Avec

D.I.₅₀ qui est la “ dose infectieuse 50 ”, dose susceptible d'infecter 50% de la population exposée

Cependant, très peu de courbes dose-réponse ont pu être identifiées. Ceci s'explique notamment par le nombre important de paramètres qui sont indispensables à l'application des lois statistiques, à la petite quantité de données accessibles pour renseigner ces paramètres et à la spécificité de ceux-ci (ils sont en général définis pour une population bien définie).

Annexe 13 :

Commentaires des données de survie dans l'environnement

C'est un élément capital en ce qui concerne le risque de contamination dû à l'épandage des boues.

Cependant, les données recueillies sont à utiliser avec prudence car elles se limitent souvent à des conditions opératoires particulières, expérimentales (milieu donné et conditions physico-chimiques fixées) et pas toujours renseignées (absence de données sur l'inoculum et sans préciser la population microbienne restante).

Cependant, on constate que la plupart des micro-organismes pathogènes identifiés présentent **une résistance modérée dans l'environnement** (surtout si on la rapproche des durées du stockage des boues voisine de 8 à 10 mois). Ainsi, la plupart des bactéries et des parasites ne survivent guère plus de quelques jours ou quelques semaines, et plus rarement quelques mois selon les conditions du milieu. En effet, les boues d'épuration ne sont pas un milieu favorable à la survie des micro-organismes mais l'épandage va en plus accélérer leur élimination [4]. Cette élimination s'explique par la pression exercée par les micro-organismes autochtones environnementaux (phénomène de compétition) et par les facteurs physico-chimiques du milieu (effet du climat : irradiation UV, température,.. et l'effet du sol : pH, dessiccation, pauvreté en nutriments,...). D'une manière générale, les micro-organismes survivront mieux dans ou sur le sol que sur les végétaux, aux basses températures (survie meilleure en été) et dans des milieux humides [37]. A l'inverse des valeurs extrêmes de pH (inférieure à 3 ou supérieur à 12) et l'irradiation solaire tendent à diminuer la survie. Seuls quelques agents biologiques capables de sporuler (*Clostridium spp.* (agent biologique d'intérêt majeur) et *Bacillus anthracis* (agent biologique d'intérêt mineur)) peuvent survivre plusieurs mois, voir plusieurs années. Enfin, le cas des Salmonelles est intéressant puisque des cas de multiplication dans les boues d'épuration ont été rapportés [47].

Annexe 14 :

Taux de réduction pour les étapes de traitement des effluents

(sources : rapports [5], [35], [3], [4], ADEME, CEMAGREF et les traiteurs d'eau [36])

Agents biologiques / Type de traitement	Prétraitement	Décantation primaire	Flotation	Lits bactériens	Boues actvées	Lagunage	Coagulation /floculation	Filtration lente sur sable	UV	Chloration	Ozonation	Epannage direct
Agents biologiques d'intérêt mineur												
<i>Bacillus anthracis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Brucella suis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Leptospira interrogans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mycobacterium Avium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aeromonas hydrophila</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Toxoplasma très</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichinella sp</i>	-	90 %	-	-	100 %	100 %	-	-	-	-	-	-
<i>Giardia lamblia</i>	-	-	-	-	-	-	-	99 à 100 %	< à 90%	> à 99 %	99 %	99 %
Agents biologiques d'intérêt majeur												
<i>Campylobacter spp</i>	-	50 à 60 %	-	99,8 %	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Clostridium spp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Escherichia coli</i>	10 à 20 %	-	70 à 98 %	70 à 95 %	-	80 à 90 %	-	-	-	98 à 99 %	-	-
<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella spp</i>	0 à 10 %	8 à 10 %	40 à 98 %	30 à 78 %	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Yersinia spp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cryptosporidium spp</i>	-	83 %	-	-	-	-	> à 90 % (suivi filtration et post- chloration)	99 à 99,7%	98 à 100%	-	99 % de perte d'infectivité	99 % de perte d'infectivité
Etude générale de	Efficacité	-	-	Efficacité	Efficacité	Efficacité	Efficace	-	-	-	-	Fonction

AHR JF.,1986	faible ou nulle		faible	variable agents biologiques	faible	(coag-floc-et filtration lente)														milieu et agents
--------------	-----------------	--	--------	-----------------------------	--------	---------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------------

Annexe 15 :

Taux de réduction pour les étapes de traitement des boues

(sources : Rapports et dossiers documentaires [36], [46], [47] et [5])

Agents biologiques / Type de traitement	Epaississement et Déshydratation	Chaulage	Stabilisation thermique	Stockage longue durée	Digestion anaérobie	Stabilisation aérobie	Compostage	Pasteurisation	Irradiation	Lits de séchage
<i>Agents biologiques d'intérêt mineur</i>										
<i>Bacillus anthracis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Brucella suis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. aeruginosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. rhusiopathiae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>L. interrogans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M. avium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. hydrophila</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Toxoplasma très</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichinella sp</i>	Jusqu'à 2 log	Pratiquement totale : autour de 45 log	Jusqu'à 17 log	-	variable	Jusqu'à 9 log	Jusqu'à 5 log	-	-	70 % après stabilisation ou 90 % après digestion aérobie
<i>Giardia lamblia</i>	Jusqu'à 0,26 log De 0,1 à 1,02 log	Jusqu'à 3 log Chaux éteinte : jusqu' à 0,22 log Chaux vive : jusqu' à 2,92 log	Pas opérant De 3,27 à 6,4 log	-	Jusqu'à 4,3 log 3,99 à 4,3 log	Jusqu'à 4,8 log 3,47 à 4,53 log	Jusqu'à 4,5 log Jusqu' à 4,8 log	-	-	-
<i>Agents biologiques d'intérêt majeur</i>										
<i>Campylobacter spp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Clostridium spp</i>	Jusqu'à 1,85 log	Jusqu'à 5 log Moyenne 2 log	-	Abattement jusqu'à 4 mois	Jusqu'à 1 log	Jusqu'à 1,38 log	0,22 à 4,11 log	-	-	-

<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella spp</i>	Jusqu'à 4,4 log	Jusqu'à 5 log	Jusqu'à 4 log	Possibilité de recroissance	Jusqu'à 5 log (voir plus si digestion thermophile) <i>De 2 à 4 log</i>	usqu'à 5 log (voir plus si digestion hermophile)	Jusqu'à 4 log <i>Jusqu'à 2,4 log</i>	-	-	-	-	-	
<i>Yersinia spp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cryptosporidium spp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agents biologiques / Type de traitement	Epaississement et Déshydratation	Chaulage	Stabilisation thermique	Stockage longue durée	Digestion anaérobie	Stabilisation aérobie	Compostage	Pasteurisation	Irradiation	Lits de séchage			
Autres résultats d'études : données qualitatives													
ADEME [46],[47]	Peu ou moyennement efficace	Efficace	-	Efficacité moyenne	- thermophile ; efficace ; - froide ; moins efficace	- thermophile ; efficace ; - psychrophile moins efficace	Efficace de 50 à 60°C, moins efficace à faible température	Efficace	-	-	-	-	
Collin F. et coll [36]	-	Efficace	Efficace	-	Efficacité variable suivant agents biologiques	- thermophile ; efficace ; - psychrophile peu efficace	Efficace	Très efficace	-	-	-	-	
European commission, 2001	-	Efficace si chauds vive	Efficace	-	Efficace si thermophile	Efficace si thermophile	Efficace	-	-	-	-	-	
Règlementations européenne et américaine													
Européenne : classes de boves produites	-	-	-	C	- A ou B si thermophile - C si mésophile	- A ou B si thermophile - C si mésophile	A	A	-	-	-	-	
Américaines : type de procédé	-	PSPR	PFPR	-	PSPR	PFPR si thermophile Simon PSPR	PFPR si thermophile Simon PSPR	PFPR	-	-	-	-	

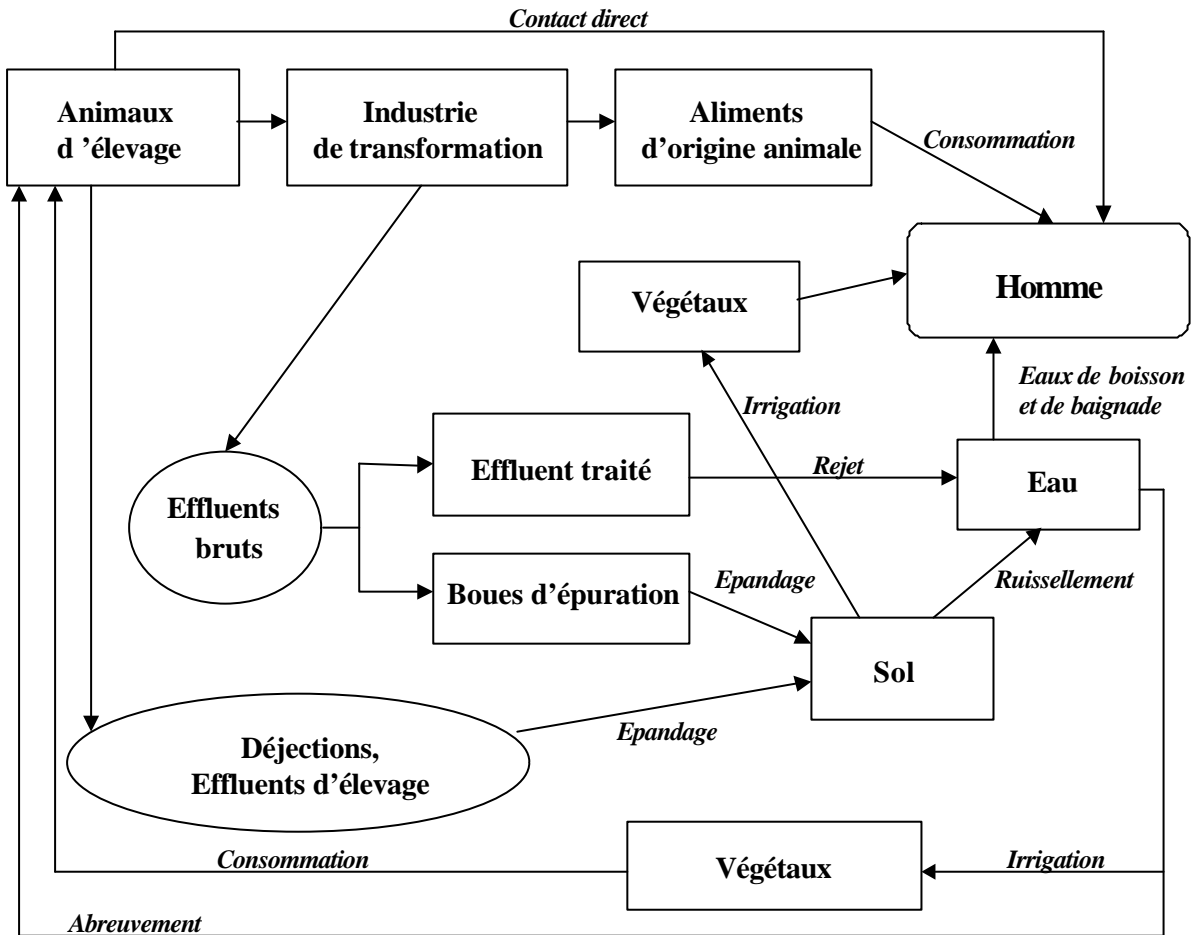
*PSPR : process to significantly reduce Pathogens

PFPR : Process to Further Reduce Pathogens

*Abattement logarithmique et pourcentage de réduction : $x \log = 100 - (10^x \times 100) \%$
Données quantitatives en italique sont issues de [36].*

Annexe 16:

Bilan des voies d'exposition (d'après H.Brugère - ENV de Toulouse)



Annexe 17 :

Règlementations européenne et américaine

- **La révision de la Directive du Conseil 86/278/CEE**

Les procédés conduisant à des boues de type **A** sont validés par une réduction de 99,999 % de la concentration d'un organisme test tel que *Salmonella Senftenberg W 775*. De plus, les boues traitées doivent être exemptes de Salmonelles dans 50 grammes de matière sèche et le traitement doit permettre une réduction de la teneur en *E. coli* permettant de la ramener à moins de 5.10^2 UFC par gramme de MS.

Les procédés proposés sont entre autre :

- **Le séchage thermique** avec une température d'au moins 80°C et aboutissant à une teneur en Matières Sèches d'au moins 90 %,
- **La digestion anaérobie thermophile** à une température d'au moins 53°C pendant 20 heures sans ajout ou vidange pendant le traitement,
- **La stabilisation à la chaux vive** amenant à un pH au moins de 12 et maintenant une température minimale de 55°C pendant 2 heures.

Les procédés qui conduisent à des boues de type **B** sont des traitements partiellement hygiénisants comme par exemple:

- **La digestion anaérobie thermophile** à une température d'au moins 53°C pendant 20 heures,
- **La stabilisation à la chaux éteinte** amenant à un pH au moins de 12 après chaulage et le maintenant pendant 24 heures.

- **La réglementation américaine (EPA 40 CFR 503)**

Pour être de classe **A**, les boues doivent satisfaire à une concentration en coliformes fécaux inférieure à 1 000 par gramme de MS ou une concentration en Salmonelles inférieure à 3 pour 4 grammes de MS. De plus, des prescriptions complémentaires peuvent être ajoutées.

Parmi ces procédés permettant d'obtenir de telles boues, on peut citer :

- **Le séchage thermique** direct ou indirect amenant à une teneur en MS de 90 % et assurant une température supérieure ou égale à 180°C,
- **La digestion anaérobie thermophile** à une température de 55-60°C pendant 10 jours.

Pour les procédés (PSPR : Process to Significantly Reduce Pathogens) conduisant à des boues de classe **B**, on trouve par exemple :

- **La digestion anaérobie** à une température comprise entre 35 et 55°C pendant 15 jours ou une température de 20°C pendant 60 jours,
- **La stabilisation à la chaux** si le pH s'élève à 12 après 2 heures de contact.